

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

Sopečné pórovité horniny v sedimentární výplni sokolovské pánve

Pumice in the Sokolov basin: genesis and possible use

Diplomová práce

Bc. Irma Harenčáková



Vedoucí diplomové práce: Doc. Mgr. Richard Přikryl, Dr.

Praha 2010

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně. Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím jednak při citacích za textem a jednak v kapitole Použitá literatura.

V Praze, dne 26. 8. 2010

ABSTRAKT

Cílem studia v této diplomové práci byly nově objevené sopečné pórovité horniny na území České republiky. Tyto horniny byly nalezeny Dr. Petrem Rojíkem, který je zaměstnán jako geolog v Sokolovské uhelné a.s. Horniny jsou vulkanického původu a vyskytují se v sokolovské pánvi v lomu Družba. Makroskopický vzhled nalezených hornin a jejich uložení v terénu připomínalo charakterem horninu pemzu, a proto se studium zabývalo porovnáním a ověřením, zda tyto horniny skutečně pemzou jsou či nikoliv.

Geologická pozice sopečných pórovitých hornin je charakteristická svým uložení v bentonitové základní hmotě v podobě lahary a může být přiřazena k tzv. epiklastickým ložiskům. Odebrané vzorky hornin byly podrobeny petrografickému rozboru. Zkoumáním vyšlo najevo, že tyto horniny v prvotní fázi výzkumu považované za pemzu se od ní v některých případech liší. Byly určeny čtyři základní kategorie hornin podle makroskopických kritérií. Silikátová analýza identifikovala podle jejich chemického složení vzorky jako trachyandezit, fonotefrit až bazaltický trachyandezitem, trachybazalt a tefrifonolit a ukázala, že tyto sopečné horniny mají bazický až intermediální charakter a nezapadají mezi pravé pemzy, které se vyznačují vysokým obsahem SiO_2 . Pomocí další laboratorní metody zabývající se mikroskopií byla ve výbrusech zjištěna holokrystalická a hemikrystalická struktura a typická porfyrická struktura. Byla pozorována mikropórovitost, vrůstání pórů do minerálů, rozvětvené nepravidelné tvary pórů a mikrotrhliny.

V textu diplomové práce jsou popsány další charakteristiky sopečných pórovitých hornin ověřené metodami, jako je RTG difrakční rozbor určující hlavní minerály v odebraných vzorcích hornin a nebo rtuťová porozimetrie zaměřená na pórový prostor hornin a jeho zkoumání z hlediska daných fyzikálních veličin.

SUMMARY

In this work was to bring newly discovered volcanic porous rocks in the Czech Republic. These rocks have been found by Dr. Peter Rojíkem who is employed as a geologist in the Sokolov coal and The rocks are of volcanic origin, and therefore occur in the Sokolov Basin in refractive Druzhba. Macroscopic appearance of found rocks and store them in the terrain resembled the character of pumice rock, and therefore the studies addressed the comparison and verification of whether these rocks are actually a pumice stone or not.

Geological position of porous volcanic rock is characterized by its deposit base in the bentonite clay in the form of a lahar, and can be attributed to the so-called epiklastickým deposits. Collected rock samples were subjected to analysis petrografickému. Researching, it became clear that these rocks in the initial stage of the research considered pumice from it in some cases differ. Identifying four basic categories of rocks according to macroscopic criteria. Silicate analysis identified according to their chemical composition as the samples trachyandesites, fonotefrit to basaltic trachyandesites, trachybasalts and tefrifonolit. Using other laboratory methods to deal with microscopy was observed in thin sections and holokrystalická hemikrystalická structure and a typical porphyritic texture. Was observed Microporosity, vrůstání pores in minerals, branched irregular shapes of pores and microcracks.

The text of the thesis describes other characteristics of porous volcanic rocks validated methods such as X-ray diffraction analysis identifying the main minerals in rock samples taken and or mercury porosimetry oriented pore space of rocks and its exploration in terms of the physical quantities.

OBSAH

1. Úvod	1
2. Pemza, její využití a těžba	2
2.1. Složení pemzy	2
2.2. Vznik pemzy	3
2.3. Formy výskytu pemzy	3
2.3.1. Toky a dómy	3
2.3.2. Ložiska vzdušného dopadu	4
2.3.3. Pyroklastické toky	4
2.3.4. Epiklastická ložiska	4
2.4. Vlastnosti pemzy	5
2.5. Použití pemzy	5
2.5.1. Obecně	5
2.5.2. Lehké kamenivo	6
2.5.3. Dekorativní použití	7
2.5.4. Pucolánový materiál	7
2.5.5. Abraziva	7
2.5.6. Sorbety	7
2.5.7. Plniva	8
2.5.8. Filtrační medium	8
2.6. Ekonomika využití a těžby pemzy	8
2.6.1. Způsob těžby	8
2.6.2. Významné těžební lokality	8
2.6.3. Současná těžba pemzy	9
2.6.4. Ceny pemzy v USA	11
3. Geologický vývoj severočeských pánví	12
3.1. Vznik podkrušnohorských pánví	12
3.2. Sokolovská pánev	13
3.2.1. Základní údaje o sokolovské pánvi	13
3.2.2. Vulkanismus v sokolovské pánvi	14
3.2.3. Rozdělení sokolovského souvrství	15
3.2.4. Lom Družba v sokolovské pánvi	16
4. Metodika	17
4.1. Terénní výzkum sopečných pórovitých hornin	17
4.2. Laboratorní výzkum	17
4.2.1. Makroskopický popis	17
4.2.2. Tvarová analýza	17
4.2.3. Příprava výbrusů a mikroskopický výzkum	17
4.2.4. RTG difrakční rozbor	18
4.2.5. Silikátová analýza a stanovení stopových prvků	18
4.2.6. Rtuťová porozimetrie	18
5. Výsledky laboratorního studia sopečných pórovitých hornin	20
5.1. Terénní výzkum sopečných pórovitých hornin	20
5.2. Makropopis	20
5.3. Tvarová analýza částic	21
5.4. Mikroskopický výzkum	22
5.5. RTG difrakční rozbor	25
5.6. Silikátová analýza a stanovení stopových prvků	26
5.7. Rtuťová porozimetrie	28
6. Diskuze	33
6.1. Geologická pozice sopečných pórovitých hornin	33
6.2. Petrografická charakteristika	33
6.3. Fyzikální vlastnosti a možnosti využití	38
7. Závěr	40
8. Použitá literatura	42

Seznam obrázků:

- Obr. 1 - Rozšíření terciérních sedimentů a vulkanitů v severozápadních Čechách a okolí
- Obr. 2 - Statigrafické schéma hlavních terciérních pánví v Čechách
- Obr. 3 - Odkrytá geologická mapa sokolovské pánve a geologický řez
- Obr. 4 - Lom Družba z vyhlídky Pískový vrch
- Obr. 5 - Sever lomu Družba, I. Lokalita
- Obr. 6 - Makroskopicky odlišitelné kategorie sopečných hornin ze sokolovské pánve
- Obr. 7 - Klasifikační diagram s 10-ti hlavními třídami tvarů hornin
- Obr. 8 - Polarizační mikroskopie vybraných výbrusů
- Obr. 9 - Fluorescenční metoda mikroskopie vybraných výbrusů
- Obr. 10 - Zobrazení jednotlivých vzorků sopečných pórovitých hornin v TAS klasifikačním diagramu vulkanických hornin
- Obr. 11 - Graf SO PE 1/1
- Obr. 12 - Graf SO PE 1/3
- Obr. 13 - Graf SO PE 2/1
- Obr. 14 - Graf SO PE 2/2
- Obr. 15 - Graf SO PE 2/3
- Obr. 16 - Graf SO PE 4/1
- Obr. 17 - Graf SO PE 4/3
- Obr. 18 - Graf SO PE 4/13
- Obr. 19 - Póry uvnitř pemzy
- Obr. 20 - Klasifikační diagram vulkanických hornin s vnesenými body vzorků sopečných pórovitých hornin a polí rozpětí hodnot pro typické zástupce pemzy z Lipar, Santorini a Islandu

Seznam tabulek :

- Tab. 1 - Základní vlastnosti pemzy a sopečných strusek
- Tab. 2 - Složení pemzy z různých světových lokalit
- Tab. 3 - Prodej a použití pemzy v USA
- Tab. 4 - Těžba pemzy v roce 2008 a 2009
- Tab. 5 - Světová produkce pemzy a příbuzných surovin
- Tab. 6 - Podíl pemzy a ostatního vulkanického materiálu z celkové těžby
- Tab. 7 - Přehledné znázornění výsledků RTG difrakce vzorků sopečných pórovitých hornin
- Tab. 8 - Silikátová analýza hlavních komponent

Tab. 9 - Hodnoty stopových prvků

Tab.10 - Základní fyzikální vlastnosti stanovené a vypočtené pomocí rtuťové porozimetrie

Tab. 11 – Procentuální vyjádření mezopórů (Vme), makropórů (Vma) a hrubých pórů (Vh)

Tab.12 - Silikátová analýza sopečné pórovité horniny, I. lokalita, lom Družba

Seznam použitých zkratek :

atd.: a tak dále

a.s.: akciová společnost

GPS: globální polohovací systém

J: jih

jz.: jihozápad

kg: kilogram

km: kilometr

kPa: kilopascal

m: metr

mA: miliampér

mm: milimetr

m.n.m.: metrů nad mořem

MPa: megapascal

Mt: megatuny

nm: nanometr

obr.: obrázek

resp.: respektive

S: sever

SUAS: Sokolovská uhelná akciová společnost

sv.: severovýchod

sz.: severozápad

tab.: tabulka

TAS: total alkali silica

tzv.: takzvaný

V: východ

Z: západ

Seznam příloh :

Příloha Ia – Přehled studovaných lokalit

Příloha Ib – Seznam vytipovaných vrtů obsahujících sopečné pórovité horniny

Příloha Ic – Přehledná důlní mapa sokolovské pánve

Příloha Id - Důlní mapa lomu Družba s vyznačenými lokalitami

Příloha II – Makroskopický popis sopečných pórovitých hornin

Příloha III – Mikroskopický popis výbrusů sopečných pórovitých hornin

Příloha IV – RTG difrakční analýza

Příloha V – Rtut'ová porozimetrie

1. ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá studiem sopečných pórovitých hornin vyskytujících se v sedimentární výplni sokolovské pánve v lomu Družba u Nového Sedla patřící Sokolovské uhelné, a.s.. Tento druh sopečných hornin je charakteristický svou světlou až bílou barvou, na povrchu méně či více výraznou pórovitostí a valounky mohou mít velikost od několika centimetrů až po téměř 15 centimetrů v průměru. Jsou tedy jakousi zvláštní raritou, která v České republice není zaznamenána. Na podnět geologa Dr. Petra Rojíka byla zvolena pracovní či teoretická hypotéza, která se zabývá tím, zda by tyto nalezené horniny mohly být pemzou.

Výzkum se tedy zaměřil na zkoumání těchto hornin z hlediska výskytu, geologie a posléze na laboratorní část. Tyto horniny by mohly být považovány i za doprovodnou surovinu v lomu Družba, která v současnosti není využívána, ale vyskytuje se zde v nezanedbatelném množství. Pokud by byly tyto horniny uvažované jako pemza, mohlo by její využití mít různý potenciál. Jako příklad využití pemzy může být uvedeno kamenivo do lehkých betonů, dále pemza jako levný pucolánový materiál tvoří příměs v betonech, typické využití pemzy je jako abrazivum, sorbent, plnivo a filtrační médium. Světlá barva horniny je také výhodou v oblasti výroby barevných dekorativních produktů obsahující minerální pigmenty.

Terénní část výzkumu těchto hornin byla zaměřena na odběr vzorků, mapování lokalit, určení základní horniny, ve které se sopečné horniny vyskytují, určení nadložních a podložních hornin a způsobu uložení hornin a jiné geologické zvláštnosti daných lokalit. Hornina pemza vzniká ve čtyřech základních typech ložisek a ty jsou toky a dómy, ložiska vzdušného dopadu, pyroklastické toky a epiklastická ložiska. Cílem této terénní části tedy bylo určit, zda se sopečné pórovité horniny uložily podobným či naopak jiným způsobem.

Pemza se vyznačuje určitými specifickými vlastnostmi a samozřejmě i svým složením. Mezi její charakteristické vlastnosti patří barva, nízká objemová hmotnost, měrná hmotnost a vysoká pórovitost. Vyšší obsahy SiO_2 řadí pemzy mezi sopečné vyvrženiny kyselého až intermediálního charakteru. Srovnání složení zástupců pemzy z typických lokalit a vybraných reprezentativních vzorků z lomu Družba byl jeden z hlavních indikátorů pracovní hypotézy při výzkumu. K tomu samozřejmě přispěl i výzkum mikroskopický zahrnující zhodnocení výbrusů sopečných pórovitých hornin v polarizačním mikroskopu v procházejícím a odraženém viditelném světle a pozorování pórovitosti v UV odraženém světle a v poslední řadě i metoda RTG difrakce.

Diplomová práce by tedy měla přinést několik nových poznatků o těchto zvláštních a zajímavých sopečných horninách vyskytujících se v sokolovské pánvi a zároveň i prokázat, zda tyto horniny lze za pemzu považovat či ne.

2. PEMZA, JEJÍ VYUŽITÍ A TĚŽBA

2.1. Složení pemzy

Pod pojmem pemza se rozumí velmi pórovité sopečné sklo, které doprovází kyselé vulkanické horniny. Může tedy být ryolitického, dacitického, trachytického, fonolitického až intermediálního složení, zatímco sopečné strusky mají charakter spíše basický (Tab. 1). Název pemza je odvozen buď z latinského slova *pumex* znamenající pórovitou horninu a nebo ze slova *spuma*, což je výraz pro pěnu či pění (Harben 2002).

Pro pemzu je tedy typický vysoký obsah SiO_2 . Pemzové uloženiny často obsahují fragmenty hornin ze stěn magmatického přírodního kanálu a pemzové lapili a bomby mohou také obsahovat proměnlivé množství křemene, živce, amfibolu, feromagnetických minerálů atd. (Lorenz a Gwosdz 2003). Pemza z různých světových lokalit může mít tedy i rozdílné hodnoty ve svém složení (Tab. 2).

Tab.1. Základní vlastnosti pemzy a sopečných strusek (převzato z Lorenze a Gwosdza 2003).

	Pemza	Struska
Barva	světle šedá až bílá, zřídka načervenalá	od šedo-černé až do červeno-hnědé
Petrologie	ryolitické, dacitické, trachytické, fonolitické složení	basaltické, andesitické složení
Objemová hmotnost	400 – 800 kg/m ³ , někdy < 300	800 – 1400 kg/m ³
Měrná hmotnost (hustota)	2 500 (2 200 – 2 600) kg/m ³	3000 (2 500 – 3 100) kg/m ³
Pórovitost	až do 85 %	až do 50 %
Průměrné chemické složení (%)		
SiO ₂	55 -75	40 – 55
Al ₂ O ₃	12 -16 (20)	10 – 21
Fe ₂ O ₃	0,5 – 3 (4)	(3)6 – 19
FeO	0,1 – 4 (6)	do 12
CaO	0,5 – 3 (4)	(4)8 – 15
MgO	0,1 – 3	3 – 12
Na ₂ O	2 – 5	2 – 6 (9)
K ₂ O	2 – 5	1 – 3 (9)
LOI (ztráta žháním)	3 - 5	1 - 4

Tab. 2. Složení pemzy z různých světových lokalit (převzato z Lorenze a Gwosdza 2003).

	ITÁLIE LIPARI	ŘECKO SANTORINI	JAPON SKO KYUS HU	ISLAND HEKLA	SALVADOR	NĚMECKO EIFEL	USA KALIFORNIA
SiO ₂	70,4 -72,2	58,9 – 72,6	73,1	64,54 – 70,0	56,4 – 69,9	54,3 – 58,2	60,1 – 73,4
Al ₂ O ₃	12,3 -16,0	12,1 – 17,1	13,84	14,66 – 14,98	14,2 – 16,9	18,6 – 23,0	12,9 – 18,5
Fe ₂ O ₃	0,8 -1,98	0,01 – 7,12	1,16	0,47 – 1,94	0,68 – 1,90	1,13 – 2,30	0,6 – 3,30
FeO	0,02 – 1,95	0,15 – 3,65	-	2,61 – 5,81	1,85 – 2,85	0,25 – 1,96	0,13 – 1,61
TiO ₂	0,05 – 0,20	0,22 – 1,03	-	0,19 – 0,58	0,30 – 1,22	0,12 – 1,10	tr.(stopy)- 0,60
CaO	0,70 – 1,36	0,57 – 6,18	1,34	2,55 – 4,15	0,98 – 2,41	0,24 – 3,50	1,17 – 5,74
MgO	0,12 – 0,60	0,29 – 2,01	0,28	0,36 – 1,16	0,53 – 0,99	0,06 – 1,23	0,22 – 3,98
Na ₂ O	3,23 – 4,37	3,60 – 8,16	2,76	3,22 – 4,60	2,98 – 3,98	4,19 – 11,7	1,95 – 4,86
K ₂ O	3,83 – 5,43	1,61 – 4,14	2,61	1,74 – 2,58	1,99 – 4,61	4,72 – 7,04	0,06 – 4,22
MnO	0,04 – 0,09	0,04 – 0,18	-	0,11 – 0,20	0,20 – 0,48	0,12 – 0,73	-
P ₂ O ₅		0,02 – 0,23	-	0,01 – 0,21	0,02 – 0,19	sp.(stopy) - 0,23	-
LOI (ztráta žháním)	0,08 – 0,10 3,71 – 4,70	0,90 – 4,85	4,77	0,56	2,68 – 4,61	0,86 – 4,92	0,39 – 12,9

2.2. Vznik pemzy

Vznik pemzy je založen na velmi silném odplynění a část lávy pak utuhne do formy mimořádně pórovité pěny. Tento vznik je vázán zvláště na explozivní vulkanické erupce, kdy se při mohutných fontánách čedičové lávy střídá účinek lávy a vody. Pemza se rozděluje na dva základní typy: prvním a častějším typem je kyselá pemza světlé, stříbřité barvy a vzniká především při mohutných explozích v centrálních vulkánech. Druhým méně častým typem je pak čedičová a andezitická pemza, jejíž barva je černá a vzniká především při freatických explozích sopek pod ledovci. Částčky pemzy (nebo strusky) o průměru 2 – 64 mm se nazývají lapili (Gudmunsson a Kjartansson 1996).

Pemza se většinou vyskytuje v podobě nezpevněných uloženin obsahující částice ve velikostech od milimetrů až po několik decimetrů, někde dokonce dosahují až 1,5 metru. Velikost částic pemzy se zmenšuje se vzdáleností od centra erupce. Stejně tak se zmenšuje i mocnost ložiska pemzy a obojí se snižuje semilogaritmicky (Lorenz a Gwosdz 2003).

Tvorba ložisek pemzy závisí na kombinaci teploty, viskozity, tlaku plynu a na difúzi uvnitř magmatu, stejně tak jako na propustnosti stěn hornin, přítoku vody, větrných podmínkách a také jestli se erupce odehrává v moři či na souši (Harben a Kužvart 1996).

2.3. Formy výskytu pemzy

Uloženiny pemzy se vyskytují ve 4 základních morfologických typech mezi něž patří toky a dómy, uloženiny vzdušného dopadu, pyroklastické toky a epiklastické uloženiny (Geitgey 1994).

2.3.1. Toky a dómy

Tento typ ložisek pemzy vzniká z velmi viskózních magmat, která vytékají na povrch s malou explozivní aktivitou. Vytváří přitom lávové toky a dómovitá tělesa. Dómy jsou strmá a zakulacená

tělesa tvořená vytlačenou lávou (Petránek 1993). Na rychle zchladlém povrchu se pak může vyvinout vezikulární ztvrdlá kůra, která často tvoří bloky pemzové drtě. Pokračující chladnutí a krystalizace toku zvyšuje obsah volatilních komponent ve zbývající tavenině, která může způsobit větší pórovitost uvnitř toku. Vztlak masy pemzy může také násilně prorazit nadložní tok až k povrchu jako pemzový diapir. Zvýšený volatilní obsah a tlak plynu může tvořit explozivní krátery na povrchu toku dlouho po skončené erupci. Pemzové toky a dómy jsou rozsáhlé několik čtverečních kilometrů. Příkladem může být Rock Mesa, což je pemzový tok v Oregonu a jeho areál činí 6,5 km² a nebo Mono Craters, několikanásobný komplex dómů a toků v centrální Kalifornii, který pokrývá 30 km². Pemzy, které se vyskytují jako tento typ, mají větší póry než ostatní typy pemzy a mohou vytvářet bloky okolo velikosti 1 metru. Značně proměnlivá pórovitost působí potíže při těžbě a využití (Geitgey 1994).

2.3.2. Ložiska vzdušného dopadu

Explozivní erupce chrlí a vystřelují do vzduchu fragmenty hustého magmatu, pemzy a okolních hornin s různou rychlostí a různým stupněm fragmentace. Tyto úlomky, v mnoha případech ložiska z těchto úlomků, jsou široce rozšířena po okolí jako pyroklastika.

Pliniovský typ erupce je typický chrlením pyroklastického materiálu směrem nahoru z přírodního kanálu sopky. Pyroklastika jsou explozí vyvržena do atmosféry a zde jsou v suspenzi udržovány konvekčními proudy ve vertikálním sloupci. Tento sloupec pyroklastik může v některých případech převyšovat výšku až 50 km.

Husté a velké fragmenty opustí přírodní kanál a dopadají do vzdálenosti podle jejich rychlosti s jakou unikají ze sopouchu. Menší husté části jako např. lapili a popel můžou být uneseny větrem z pliniovského sloupce pyroklastik a ochlazeny a následně uloženy v širokém areálu. Jejich uložení závisí na výšce sloupce, směru a rychlosti větru, velikosti částic a hustotě.

Tento typ ložisek se typicky zmenšuje ve své mocnosti a velikosti částic s rostoucí vzdáleností směrem od přírodního kanálu a obvykle obsahuje částice velikosti několika centimetrů. Mocnost může sahát od desítek metrů v blízkosti sopouchu až po milimetry ve vzdálenosti několika stovek kilometrů od sopouchu. Tyto ložiska pemzy mají největší komerční využití (Geitgey 1994).

2.3.3. Pyroklastické toky

Snižování aktivity erupce může mít za následek kolaps eruptivního sloupce pyroklastik. Horký pyroklastický materiál dopadá z tohoto sloupce a nebo teče ven z přírodního kanálu na povrch a může pokrýt plochu rozsáhlou desítky ale i stovky kilometrů čtverečních. Takový pyroklastický tok si udržuje teplotu, se kterou je schopný roztavit či naopak spékat úlomky hornin, když se jeho pohyb zastaví. Vznikají tufy, toky sopečného popele a ignimbrity. Úlomky pemzy leží nedotčené na vrchní a spodní části povrchové plochy a zchladí se než nastane spečení. Pemzové fragmenty se uvnitř toku změkčí a zhrouť se. Pemzová ložiska vyskytující se s pyroklastickými toky inklinují k tomu být tenčí mocnosti než ložiska vzdušného dopadu. Tyto pyroklastické toky pemzy jsou méně komerčně využívané než ložiska vzdušného dopadu (Geitgey 1994).

2.3.4. Epiklastická ložiska

Epiklastické procesy zahrnují erozi, transport a přemístění vodou, větrem a pohybem mas. Z komerčního hlediska tyto procesy mohou buď degradovat nebo zvyšovat kvalitu ložisek pemzy. Všechny tyto mechanismy mohou také změnit velikost částic pemzy a přimíchat i jiný materiál do

pemzy. Vítr a voda mohou i vytřídit velikost a hustotu částic a tím zlepšit kvalitu ložisek separací pemzy od krystalových a horninových fragmentů (Geitgey 1994).

2.4. Vlastnosti pemzy

Objemová hmotnost pemzy se pohybuje od 400 do 800 kg/m³ v závislosti na obsahu vlhkosti, měrné hmotnosti a rozšíření velikosti částic. Objemová hmotnost pemzy je menší než 1000 kg/m³, pemza tedy plave na vodě (Geitgey 1994).

Obvykle je světle zbarvena, její barevná škála se pohybuje od světle šedé do bílé, ovšem může mít i světle žlutou, světle hnědou nebo světle růžovou barvu (ve zvláštním případě až černou).

Pemza má pórovitou strukturu a průměry jejich pórů jsou v některých případech < 0,01 mm do > 20 mm, ale obvykle jsou mezi 0,1 až 0,6 mm.

Pemza je hojně komerčně využívána zvláště pro její specifické vlastnosti. Mezi ně patří nízká propustnost, nízká objemová hmotnost, dobré tepelné a zvukově izolační vlastnosti, chemická nezávadnost, pórovitost a tvrdost (pemzové sklo má tvrdost 5–5,5 na Mohsově stupnici tvrdosti) (Lorenz a Gwosdz 2003).

2.5. Použití pemzy

2.5.1. Obecně

Pórovitost a lehkost pemzy jsou vlastnosti, které jsou vhodné pro hlavní využití pemzy jako kameniva v lehce vázicích stavebních blocích a dalších stavebních produktech. Mezi další aplikace pemzy patří abraziva, sorbety, filtrační media, plniva, použití v zahradnictví (krajinářství), v betonech a jejich příměsích a při praní denimu. Menší procento pemz je využíváno jako abrazivní produkty. Dovezená pemza se primárně využívá jako čerstvý materiál pro stavební bloky a lehké betony (Crangle 2009).

Jako příklad je uvedena struktura využití pemzy v USA. V roce 2008, více než 620 000 tun nebo také 78 % pemzy jež byla v USA vyprodukována, byla využita ve stavebnictví a pro dekorativní materiál. Toto využití se snížilo o 16 % oproti roku 2007. Spotřeba pemzy pro zahradnické a krajinářské účely se v roce 2008 snížila o 73 % na 45 000 tun oproti roku 2007, kdy byla spotřeba 173 000 tun. Zahradnické a krajinářské aplikace tvořily 6 % odbytu pemzy v roce 2008. Množství pemzy pro betonové bloky a příměsi se snížilo o 53 % z 87 000 tun v roce 2007 na 41 000 tun v roce 2008 a tvořilo 5 % celkového použití. Spotřeba využitá jako abrazivum se v roce 2008 snížila o 75 % na 22 000 tun a tvořila 3 % celkové spotřeby. Množství pemzy prodané nebo využitě na trhu v tzv. další kategorii se snížilo o 65 % z 179 000 tun v roce 2007 na 62 000 tun v roce 2008 a tvořilo 8 % celkové spotřeby. Kategorie „další“ zahrnuje jmenovitě sorbety (zvířecí stelivo), kosmetiku, ředidla, plniva, filtrační a geotechnická media, keramickou hlínu atd. (Crangle 2009).

Tab. 3. Prodej a použití pemzy v USA (Crangle 2009).

2007				2008		
POUŽITÍ PEMZY	MNOŽSTVÍ (tisíc Mt)	CENA (tisíce)	PRŮMĚRNÁ HODNOTA	MNOŽSTVÍ (tisíc Mt)	CENA (tisíce)	PRŮMĚRNÁ HODNOTA
abraziva *	88	55 750	65, 38	22	1 340	60, 95
stavební bloky (včetně dekorativních)	739	9 870	13,35	620	7 970	12,86
beton a betonové příměsi	87	1 510	17,38	41	1 100	26,90
zahradnictví (krajinařství)	173	4 720	27,29	46	1 790	38,89
další **	179	7 080	39,54	62	3 720	60,06
celkem	1 270	28 900	22,85	791	15 900	20,14

* zahrnuje čistící a drhnuocí komponenty

** zahrnuje sorbety, ředidla, plniva, filtrační media, praní, keramiku a další nespecifikované použití

Jako materiál mající podobný charakter pemze lze uvést ještě tras (tuf s hojnými úlomky pemzy), pucolánové tufy a strusky, jejichž využití je velmi podobné (Crangle 2009).

2.5.2. Lehké kamenivo

Pemza je užívána jako kamenivo do lehkých betonů v mnoha zemích na světě, nejvíce však tam, kde se přímo vyskytuje. Je inertním materiálem, tzn. že chemicky nereaguje s cementačním pojivem nebo ocelovými výztužemi. Historicky byla používána pro stavební aplikace již od starověkého Říma. Nejznámějším příkladem je Panteon v Římě (Cavaleri a kol. 2002).

Lehký beton snižuje váhu struktury a poskytuje tepelné a zvukové izolační vlastnosti. Podobné výhody jsou vytvořené pomocí pemzy i v omítkách a štukových materiálech. Dekorativní a stavební betonové bloky s příměsí pemzy snižují čas a náročnost vytvoření konstrukce. Typický stavební blok je velký 0,2 x 0,2 x 0,4 m. S příměsí písku a šterku váží okolo 17 kg. Pokud je tento samý blok tvořen z padesáti procent pemzou a ze zbylých padesáti pískem a šterkem, váží přibližně 13 kg. Použitím pemzového materiálu je tedy beton o 30 až 40 % lehčí než normální beton. Pemza pro lehké betony je prodávána ve velikostech od 8 mm a níže (Cavaleri a kol. 2002).

Pemza bývá také používána v lehkých betonech pro zmírnění škod na silnicích kvůli sesuvům. Odstranění části těchto sesuvných hmot a zakládání úrovně cest pemzou pomáhá stabilizovat svah a podporuje odvodnění (Geitgey 1994).

2.5.3. Dekorativní použití

Světlá barva pemzy je také výhodou v oblasti produkce barevných dekorativních materiálů, ve kterých se používají minerální pigmenty (Geigey 1994). Navíc produkty s příměsí pemzy jsou ohnivzdorné (bod tání 1230° C) a jsou rezistentní vůči kondenzaci, plísním a škůdcům (Harben a Kužvart 1996).

2.5.4. Pucolánový materiál

Pemza je také přidávána do betonových příměsí jako pucolánový materiál. Termín pucolán pochází z názvu města Puzzuoli u Neapole a je definován jako silikátový či alumosilikátový materiál, který má malou cementovou hodnotu, ale který chemicky reaguje za přítomnosti vlhkosti s hydroxidem vápníku a za běžné teploty vytvoří sloučeniny mající cementační vlastnosti. Bez přidání pucolánového materiálu se může hydroxid vápenatý vyluhovat z betonu a způsobit zhoršení kvality. Pokud se přimíchá 15 - 35 % váhy, může pucolánový materiál nahradit drahý portlandský cement. Jeho výhody jsou omezení segregace, unikání vody a plynů, snížení praskání a naopak zvýšení odporu k sulfátům a agresivní vodě (Harben 2002).

Použitím přírodního pucolánu pemzového typu a různých alkalických aktivátorů založené na kombinacích Na_2SiO_3 a NaOH bylo také studováno množství geopolymerních cementových systémů. Tyto cementové systémy mají vhodnou zpracovatelnost a přijatelnou pevnost v tlaku. Všechny měřené konečné doby tuhnutí jsou přijatelné ve srovnání se standardními měřítky danými pro portlandský cement (Allahverdi a kol. 2007).

2.5.5. Abrasiva

Pemzové abrazivní produkty zahrnují řezané a tvarované bloky, zrna a prášky (Geitgey 1994). Protože je pemza inertní, extrémně ostře se láme lasturnatým lomem a její Mohsova tvrdost je 5 – 6, může být použita jako středně tvrdé brusivo. Používá se v mýdlech, domácích prostředcích na drhnutí, při leštění kůže, jako čistič grilů, čistící zubní prášek, kosmetický odstraňovač, leštící sloučeniny pro skla televizí, kovů a plastů a v zápalkách. V pracích prostředcích je důležitá její schopnost plout ve vodě dána nízkou propustností a objemovou hmotností pemzy (Harben 2002).

2.5.6. Sorbenty

Vysoká pórovitost a velký měrný povrch spolu s nízkou chemickou reaktivitou dělá z pemzy vhodný materiál pro mnoho aplikací v oblasti sorbentů od čistících prostředků na podlahy po nosiče katalyzátorů (Geitgey 1994).

Pemza v granulované podobě s velikostí kolem 1,9 cm se používá pro „kyselé“ mytí či praní oděvů. Při tomto typu praní oděvů pemza nesmí plout na vodě a musí mít dostatečnou pórovitost a propustnost, aby mohla pohlcovat a nebo naopak uvolnit chemikálie.

Kusy pemzy s velikostí 5 cm v průměru jsou používány u grilů jako sorbenty při odkapávání šťávy a redukují žhavé plameny. Jemná pemza se používá při zalévání půdy a jako hydroponické médium pro růst rostlin.

Jak absorpční tak i abrazivní vlastnosti pemzy jsou využívány jako čistící prostředky na podlahy. A také má uplatnění jako nosič pesticidů, herbicidů a fungicidů (Geitgey 1994).

2.5.7. Plniva

Jemná, velmi čistá pemza je bílá, lehká a chemicky nezávadná a její fragmenty mohou být zpracovány v různých velikostech a je tedy vhodná jako plnivo (Harben a Kužvart 1996). Minerální plniva jsou horniny přidané do různých materiálů a vytváří výslednému produktu specifické vlastnosti jako je pevnost v tahu plastech, lesk barev a nátěrů nebo váha a typický povrch papíru.

Důležité atributy pemzy využívané jako plnivo jsou cena, tvrdost, tvar částic, velikost částic, absorpce, pórovitost, hustota a nízká chemická aktivita.

Propustné a pórovité pemzové částice jsou sorbenty a mohou být použity pro změnu viskozity, nepropustné vezikulární pemzy mohou zase snižovat hustotu a pórovité stěny zvyšují pevnost v tahu u daného produktu. Tvrdost pemzy zvyšuje oděruvzdornost konečného produktu. Pemza se také vyskytuje ve formě drobných částecek v asfaltové směsi.

2.5.8. Filtrační medium

Pemza je používána jako filtrační medium pro její jemnost a tvar částic, nízké chemické aktivitě, nízkou cenu a její rozšíření. Používá se jako filtrační materiál například do vody, nápojů (džusů), olejů a paliv (Harben a Kužvart 1996).

Ve srovnání s pískem jako filtračním materiálem pitné vody byla u pemzy pozorována větší efektivita odstranění zakalení ve stejných experimentálních podmínkách. Má totiž větší pórovitost, a tím pádem i větší kapacitu pro akumulaci částicového materiálu uloženého uvnitř pórů. Na rozdíl od písku je pemza nestálý materiál, který se může během filtrace rozpadat (Farizoglu a kol. 2003).

2.6. Ekonomika využití a těžby pemzy

2.6.1. Způsob těžby

Pemza je obvykle volně konsolidovaná a je získávána povrchovou těžbou. Těžba probíhá bagrováním a ukládáním materiálu do výsypky. Před expedicí je sušena, drcena a tříděna. V některých případech probíhá i rozdrůžování na sazečkách gravitačními metodami nebo dokonce flotací. Pro některé způsoby použití je nezbytné jemné drcení a následné třídění (Harben a Kužvart 1996). Pemzové bloky jsou řezány do rozmanitých tvarů a velikostí (Crangle 2009).

2.6.2. Významné těžební lokality

Více než polovina světového množství pemzy pochází ze středoziemního regionu v Evropě, a to hlavně z Turecka, Itálie, Španělska a Řecka, kteří jsou i hlavními exportéři v Evropě. Významná ložiska pemzy jsou lokalizována okolo Nevsehiru a Kayseri v centrální Anatolii a Bitlis, Agri a Kars ve východní Anatolii. Menší zásoby byly identifikovány na ostrově Kula a Inspara v západní Anatolii. Navzdory izolované lokalitě v centrálním Turecku se zde produkce těchto ložisek velmi zvýšila, hlavní díky exportu pemzy, která se využívá v pracích prostředcích (Harben a Kužvart 1996).

Lipari, které leží ve středoziemním moři 40 km od severního pobřeží Sicílie, jsou hlavním italským zdrojem pemzy. Vysoce kvalitní pemza zde leží na rozloze 7 km². Hlavní producenti jsou společnosti Pumex SpA a Italtomice SpA (Harben a Kužvart 1996).

Produkce pemzy na španělské pevnině je koncentrovaná v provincii Ciudad Real v severní a centrální části země. Pemza se také nachází ve vulkanických horninách na Kanárských ostrovech a částečně i na Tenerife (Harben a Kužvart 1996).

Produkce pemzy v USA je omezena na vulkanicky aktivním západu USA. Její výskyt je vymezen mezi oblastí Rocky Mountains a Pacifickým oceánem. Ložiska pemzy se nachází ve státech Great Plains a to v Texasu, Oklahomě, Kansasu, jižní a severní Dakotě a Nebrasce. Největší producentem je Oregon následující Novým Mexikem, Idaho, Kalifornií, Arizonou a Kansasem. USA dováží prakticky všechnu pemzu jen z Řecka a Turecka, Ekvádoru a Itálie (Harben a Kužvart 1996).

Hlavní oblast produkce pemzy na Novém Zélandu je vulkanická plošina v Rotua – Taupo v centrální části severního ostrova, kde se nejrozsáhlejší ložiska skládají z netříděných hrubých bloků a lapilů poblíž ryolitických dóků. Stejně tak se nacházejí i u aluviálních materiálů podél hlavních řek tekoucích do a z jezera Tlupo (Harben a Kužvart 1996).

2.6.3. Současná těžba pemzy

Identifikované zdroje pemzy v USA jsou koncentrovány na západě a jsou odhadovány na více než 25 milionů tun. Odhadované veškeré zdroje (identifikované a neobjevené) v západní části USA a v Great Plains jsou minimálně v množství 250 milionů tun a mohou mít dokonce více než 1 miliardu tun. Turecko a Itálie jsou vedoucí producenti pemzy a ostatního materiálu, následované Řeckem, Iranem, Chile, Syrií a USA. V těchto oblastech jsou rozsáhlé zdroje pemzy. Současná světová těžba pemzy dosahuje 19,6 milionů tun. (Crangle 2010). Podrobné hodnoty vytěženého množství pemzy a pemzového materiálu jsou uvedeny v Tab. 4. a Tab. 5.

Tab. 4. Těžba pemzy v roce 2008 a 2009 (v tunách) (Crangle 2010).

Státy	2008	2009
USA	791	800
Alžírsko	575	575
Kamerun	600	600
Čile	1 100	1 000
Ekvádor	750	800
Etiopie	280	280
Řecko	2 250	2 250
Iran	1 500	1 500
Itálie	3 020	3 000
Nový Zeland	350	350
Saudská Arabie	700	700
Španělsko	600	600
Syrie	901	900
Turecko	4 000	4 200
další země	1900	2 040
celková světová těžba	19 300	19 600

Tab. 5. Světová produkce pemzy a příbuzných surovin (v tunách) (Crangle 2009).

Státy	2004	2005	2006	2007	2008
Alžírsko,pucolán	508 000	494 000	433 190	570 000	575 000
Argentina,pemza	9 188	15 361	17 665	16 200	16 000
Australie, tras	5 000	2 943	--	--	--
Burkina Faso	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Kamerun, pucolán	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000
Čile, pemza a pucolán	1 535 228	1 620 099	1 423 144	1 135 771	1 100 000
Kostarika	8 000	8 000	8 000	--	--
Řecko, vulkanický tuf	23 000	20 988	17 157	20 000	20 000
Dominikánská rep., pemza a vulkanický tuf	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Ekvádor:					
Pucolán	612 256	540 318	700 007	582 560	600 000
Pemza	183 119	107 178	8 730	153 500	150 000
Salvador, pucolán	222 826	223 000	223 000	223 000	223 000
Eritrea, pemza	439	440	450	450	450
Etiopie	270 994	255 334	255 622	270 000	280 000
Francie, pucolán a lapili	400 000	400 000	272 000	250 000	276 000
Řecko:					
Pucolán	1 400 000	1 400 000	1 400 000	1 400 000	1 400 000
Pemza	850 000	850 000	850 000	850 000	850 000
Guadeloupe, pemza	210 000	210 000	210 000	210 000	210 000
Guatemala, pemza	226 459	82 118	447 184	220 389	200 000
Honduras, pucolán	--	100 000	100 000	100 000	100 000
Island:					
Pemza	50 000	50 000	105 000	100 000	100 000
Skoria	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Iran	1 536 448	1 500 000	1 400 000	1 500 000	1 500 000
Itálie:					
Pucolán	4 000 000	4 000 000	4 000 000	4 000 000	3 000 000
Pemza a p. lapili	27 000	28 000	20 000	20 000	20 000
Makedonie,vulk.tuf	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Martinik, pemza	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000
Nový Zéland	280 950	245 080	303 659	354 903	350 000
Saudská Arábie, pucolán	320 000	372 000	400 000	784 000	700 000
Srbsko, vulk. tuf	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Slovensko, vulk. tuf	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000
Španělsko (Kanárské ostrovy)	553 210	600 000	600 000	600 000	600 000
Syrie, vulk.tuf	650 000	650 000	650 000	760 000	901 000
Tanzanie, pucolán	152 679	163 499	129 295	184 070	180 000
Turecko	1 035 975	1 860 037	3 515 644	3 995 423	4 000 000
Uganda, pucolán	134 644	140 000	140 000	140 000	140 000
USA, pemza	1 490 000	1 270 000	1 540 000	1 270 000	791 000
Celková těžba	17 700 000	18 200 000	20 200 000	20 700 000	19 300 000

Tab. 6. ukazuje vytěžené množství pemzy, pucolánového materiálu, trasu, sopečné strusky a nespecifikovaného vulkanického materiálu z celkové těžby od roku 2004 do roku 2008.

Tab. 6. Podíl pemzy a ostatního vulkanického materiálu z celkové těžby (Crangle 2009).

	2004	2005	2006	2007	2008
Celková těžba (t)	17 700 000	18 200 000	20 200 000	20 700 000	19 300 000
pemza	3 150 000	2 710 000	3 300 000	2 950 000	2 450 000
pucolán	7 950 000	8 030 000	8 130 000	8 580 000	7 520 000
Tras a struska	6 000	3 940	1 000	1 000	1 000
Vulkan.tuf	863 000	861 000	857 000	970 000	1 110 000
Nespecifikovaný materiál	5 760 000	6 630 000	7 910 000	8 240 000	8 240 000

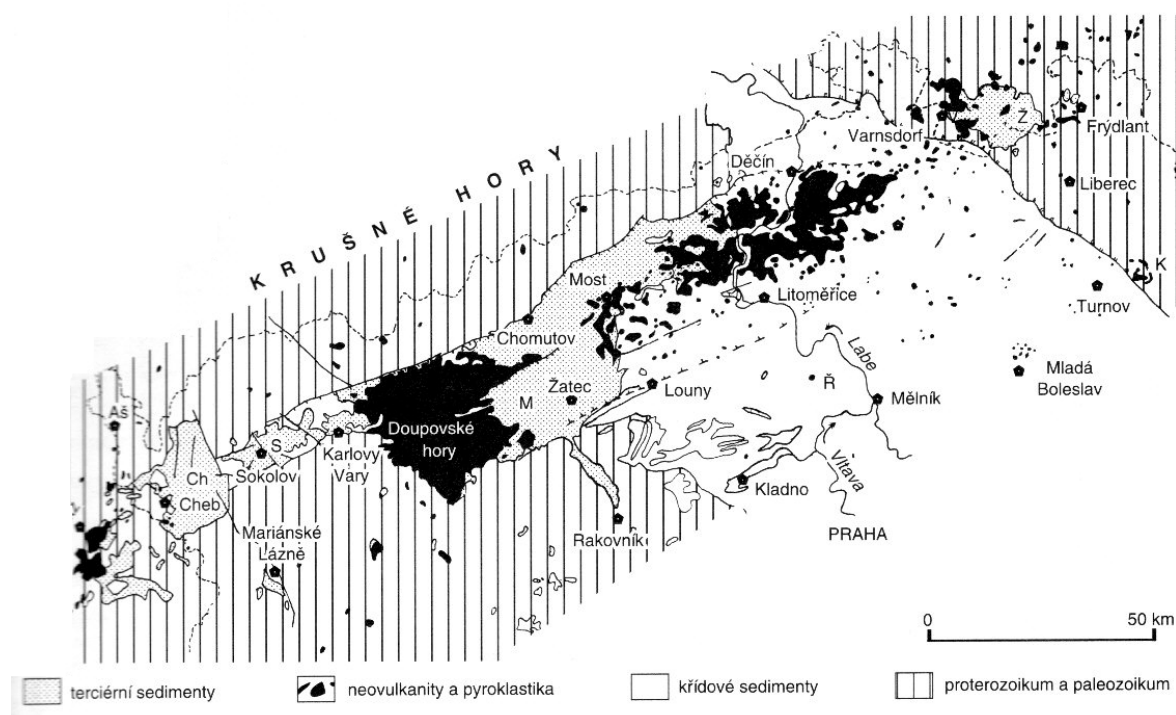
2.6.4. Ceny pemzy v USA

Průměrné ceny zaznamenané pro pemzu a pemzovitý materiál pro určité využití se značně měnily ve srovnání s průměrnou cenou pro celkové využití v roce 2008. Celkové průměrné ceny pro všechny pemzové produkty se snížily o 12 % z 22,85 \$ za tunu v roce 2007 na 20,14 \$ za tunu v roce 2008. Změna ceny odrážela poklesy v jednotkových hodnotách v pemzových stavebních blocích a abrazivech. Přírůstky v jednotkových hodnotách pemzy v půdních přísadách, pro zahradnictví, krajinářství a v dalším využití dostatečně nevyrovnaly tyto poklesy. Jednotková cena stavebních bloků a dekorativních materiálů se snížila o 4 % z 13,35 \$ za tunu v roce 2007 na 12,86 \$ za tunu v roce 2008. Průměrná cena pro pemzu a pemzovitý materiál využívaný v zahradnictví a krajinářství se zvýšila o 43 % z 27,29 \$ na tunu v roce 2007 na 38,89 \$ za tunu v roce 2008. Průměrná cena v roce 2008 pro abrazivní materiál byla 60,95 \$ za tunu, což byl pokles o 7 % ze zaznamenané ceny 65,38 \$ za tunu v roce 2007. Cena využití pro betonové směsi a bloky vzrostla o 55 % z 17,38 \$ za tunu v roce 2007 na 26,90 \$ na tunu v roce 2008. Pro ostatní využití byla cena 60,06 \$ za tunu v roce 2008 o 52 % vyšší než v roce 2007 (39,54 \$) (Crangle 2009). Ceny pemzových produktů ukazuje Tab. 3.

3. GEOLOGICKÝ VÝVOJ SEVEROČESKÝCH PÁNVÍ

3.1. Vznik podkrušnohorských pánví

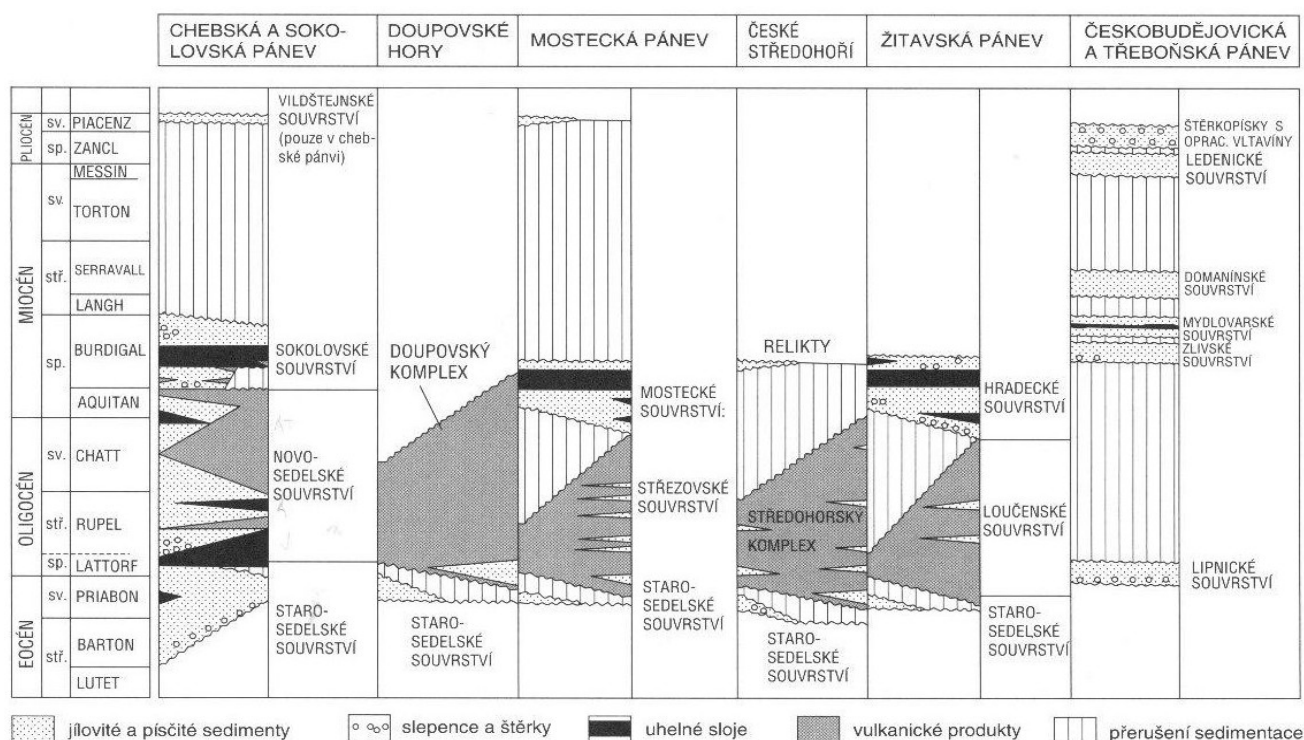
Podkrušnohorské pánve vznikly v důsledku odezvy alpínských horotvorných procesů během nichž došlo k vyklenutí a následnému tektonickému kolapsu v oslabené části Českého masivu na rozhraní tepelsko-barrandienské a sasko-durynské oblasti. Tím se vytvořila poklesová zóna sv.-jz. směru – podkrušnohorský prolom neboli oherský rift (Chlupáč a kol. 2002). Terciární pánve jsou z tektonického hlediska pánvemi slabého stupně složitosti a platformě zlomového vývoje vymezené touto poklesovou zónou. Jejich výplň nebyla nikdy vrásněna, ale byla pouze na některých místech zprohýbána do plochých mísovitých depresí či rozbita do větších či menších tektonicky omezených bloků a ker (Dopita a kol. 1985). Podél některých zlomů (např. litoměřického) docházelo k oživení vulkanické činnosti od bavorské Horní Falce přes Doupovské hory a České středohoří až do Lužice (Obr. 1).



Obr. 1. Rozšíření terciárních sedimentů a vulkanitů v severozápadních Čechách a okolí. Pánve: Ch – chebská, S – sokolovská, M – mostecká, Ž – žitavská, Ř – Říp, K – kozákovské vulkanické centrum (Chlupáč a kol. 2002).

Při vzniku a vyplňování riftových depresí jsou však mezi jednotlivými autory rozpory o roli tektonických a vulkanických procesů. Podle některých badatelů, například L. Kopeckého, se tektonická aktivita a její hloubkový dosah staly určujícími při vzniku a produktech vulkanické činnosti (Chlupáč a kol. 2002). Avšak podle regionální studie „Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí“ (Malkovský a kol. 1985) jsou představy, předpokládající vznik příkopové propadliny v kopulovitě se vyklenující části sz. Čech, chybné. Předpokládají vystupující strukturu Krušných hor, která je však teprve kvartérního stáří. Podle tohoto autora je tvrzení, že pohyb podle krušnohorského zlomu probíhal po celý neogén a kvartér, nedoložené a odporuje důkazům o pohybech na krušnohorském zlomu. Do té doby probíhala od počátku akvitánu (svrchního egeru) až do spodního

helvetu (otnangu) subsidence drobných ker pánevního dna. Jde tedy o gravitační kolapsové struktury, které jsou výsledkem gravitační tektogeneze. Pokud tato tektogeneze probíhá ve vulkanické oblasti, jedná se o vulkanicko – tektonický kolaps. Podle Malkovského má každá pánev individuální systém hlavních zlomů, což je v rozporu se schématem jednotného příkopu, který by určoval vznik a vývoj všech podkrušnohorských pánví (Malkovský a kol. 1985). Vulkanická centra a tektonické struktury rozdělují rift od Z k V na dílčí části: chebská pánev, sokolovská pánev, Doupovské hory, mostecká (= severočeská) pánev a na SV žitavská pánev (Obr. 2) (Chlupáč a kol. 2002).

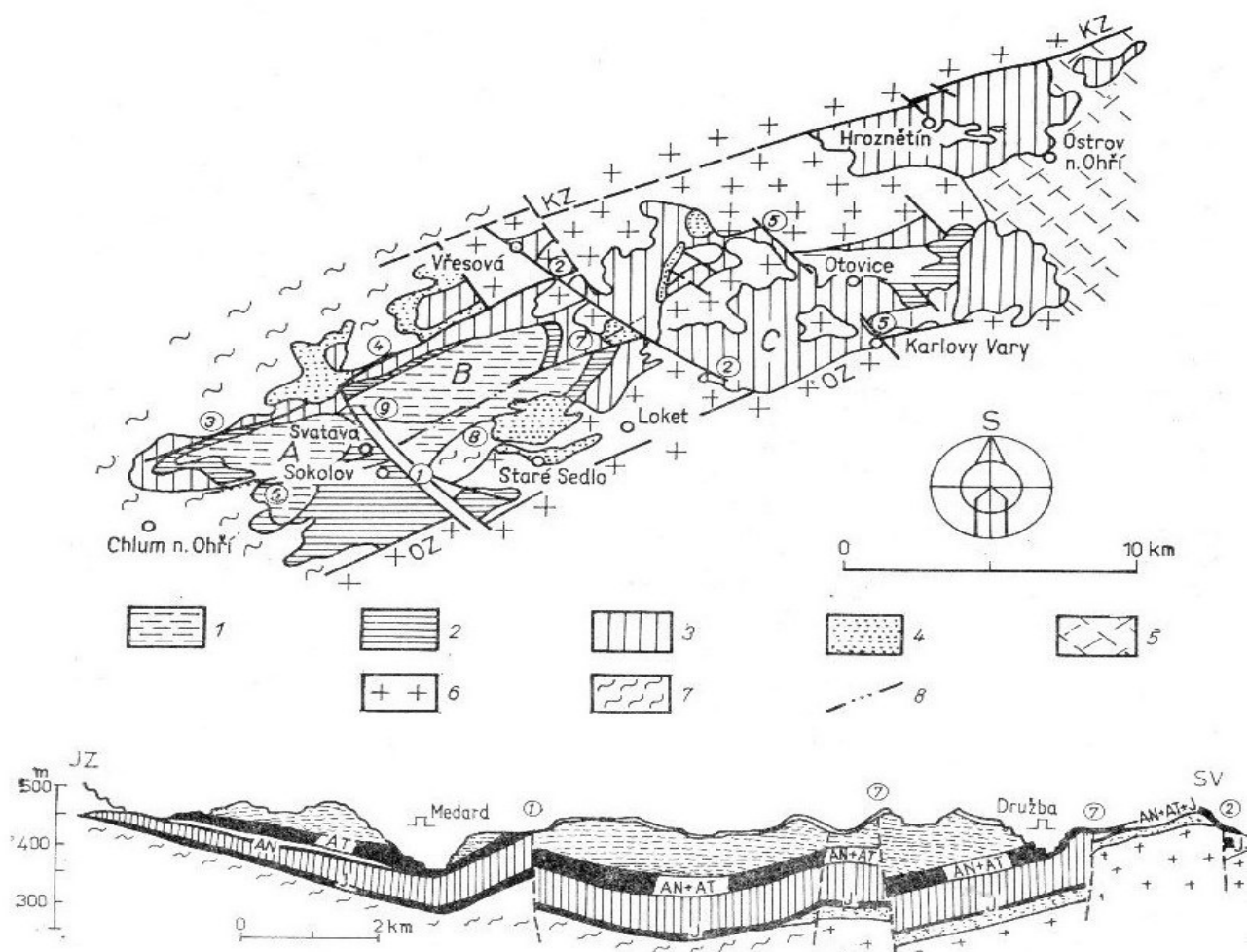


Obr. 2. Stratigrafické schéma hlavních terciérních pánví v Čechách. Návosloví některých jednotek nebylo zatím schváleno (Chlupáč a kol. 2002).

3.2. Sokolovská pánev

3.2.1. Základní údaje o sokolovské pánvi

Sokolovská pánev je nápadná, stupňovitá, oboustranně tektonicky omezená, asymetrická deprese, která je protažená sv. – jz. směrem (Dopita a kol. 1985). Pánev leží v severozápadních Čechách na území mezi Habartovem, Sokolovem, Karlovými Vary a Ostrovem nad Ohří (Dopita a kol. 1985). Omezují ji mladé poruchy – na severu krušnohorský zlom a na jihu oherský zlom (Chlupáč a kol. 2002). Pánev zaujímá rozlohu přibližně 200 km² a ze tří stran je obklopena krystalinikem (Krušné hory na S, Slavkovský les na J a Chlum nad Ohří na Z). Na V je pak ohraničena neovulkanity Doupovských hor. Sokolovská pánev je tvořena systémem vzájemně propojených, ve východní části pánve téměř izolovaných reliktních terciérů. Provozně se dělí se podle významných zlomů směru SZ – JV na západní, střední a východní část (karlovarsko – otovická část pánve) s trochu rozdílným vývojem některých jednotek (Obr. 3). Podloží terciérních (oligo – miocenních) sedimentů tvoří granitoidy krušnohorského plutonu, na Z i metamorfované krušnohorské krystalinikum. Tyto horniny jsou na některých místech hluboce zvětralé a transgredovaly na ně terciérní sedimenty (Dopita a kol. 1985).



Obr. 3. Odkrytá geologická mapa sokolovské pánve a geologický řez (Dopita a kol. 1985).

1 až 4 – terciér – souvrství: 1 – cyprisové, 2 – slojové, 3 – sloje Josef, 4 – starosedelské, 5 – vulkanity a jejich pyroklastika, 6 – žula, 7 – metamorfity, 8 – linie geologického řezu. Části pánve: A – západní, B – střední, A+B – sokolovská pánev, respektive sokolovský revír, C – karlovarsko-otovická. Význačné zlomy: KZ – krušnohorský, OZ – ohárecký. Další zlomy (čísla v kroužku): 1 – svatavský, 2 – chodovský, 3 – habartovský, 4 – lipnický, 5 – karlovarský, 6 – kytlický, 7 – novosedelský, 8 – sokolovský, 9 – grassetský, v geologickém řezu: J – sloj Josef, AN – sloj Anežka, AT – sloj Antonín

3.2.2. Vulkanismus v sokolovské pánvi

Podle Rojíka (2006a) je pro sokolovskou pánev typické prolínání tektoniky, vulkanismu a uhlotvorby. Zlomy, které se zde nacházejí, mají výraznou dilatační geometrii, což dokazuje tehdejší extenzi zemské kůry. Toto rozpínání způsobilo zaklesávání bloků zemské kůry podél řídících zlomů a vytvářely se tedy sedimentační prostory pro tvorbu uhelných slojí. Vulkanismus byl dalším důsledkem vzniku dilatačních trhlin. Nejvýznamnější zlomy zasahovaly velmi hluboko a přiváděly alkalické taveniny ze zemského pláště. Podle paleontologicky datovaných nálezů savců, ryb a flóry začala extenze v oligocénu (rupelu) a dále pokračovala ve spodním miocénu (do burdigalu), to je před 24 -21 miliony let. Toto období může být pokládáno za riftové stádium a sokolovská pánev za riftové údolí.

Hlavní vulkanická centra ovlivňující sokolovskou pánev se nacházejí v Doupovských horách, podél oherského zlomu a krušnohorského zlomu. Horniny čedičového vzhledu mají v oblasti oháreckého riftu alkalický nenasyčený charakter. Typickými zástupci v sokolovské pánvi a jejím okolí jsou

leucity, olivinické nefelinity a nefelinitické bazanity. Tyto horniny místy obsahují peridotitové uzavřeniny. To vše dokazuje, že zlomy zasahují až do zemského pláště a zdroj magmat byl těž plášťový (Rojík 2006a).

Vulkanismus i tektonika se významně podílely na tvorbě uhelných slojí. Vytvářely se sedimentační deprese, ale zároveň docházelo ke štěpení slojí, zatlačování rašelinišť pyroklastiky, gravitačními proudy (lahary) a kontaminaci slojí popelem. Paradoxně i přes prolínání uhelných a vulkanických uloženin nebyl nikde v sokolovské pánvi nalezen kontakt uhlí s lávovým tělesem nebo pyroklastiky. Toto je pro sokolovskou pánev typické (Rojík 2006b).

3.2.3. Rozdělení sokolovského souvrství

Sedimentární výplň sokolovské pánve se člení na starosedelské souvrství, novosedelské souvrství a sokolovské souvrství (spojuje uhelné sloje a cyprisové souvrství) (Chlupáč 2002).

Starosedelské souvrství je nejstarší částí výplně sokolovské pánve. Je svrchnoeocenního stáří, s možným přesahem až do nejspodnějšího oligocénu (datování podle flóry). Nemá vztah k tektonické struktuře pánve, ale souvisí s nedalekými přímořskými pánvemi (Rojík 2006). Nejvíce prozkoumané je toto souvrství na okrajích pánve, kde bazální oligocenní sedimenty vycházejí na povrch (Staré Sedlo, Královské Poříčí, atd.). Mnohem méně poznatků je o tomto souvrství z podloží „uhlonosné série“. Na okrajích pánve jsou zastoupeny facie pískovců (Šantrůček 1961). Svrchní část tohoto souvrství vznikla v říčním nebo jezerně deltovém prostředí (Dopita a kol. 1985). Ve vnitřní části pánve, dále od okrajů, se objevuje křemencový vývoj, jehož mocnost dosahuje 20 – 35 m. Pro starosedelské souvrství je charakteristická velká litologická a faciální proměnlivost. Ta se projevuje měnící se zrnitostí písčité komponenty od jemnozrnných pískovců až po hrubozrnné slepence s valouny nebo od amorfních křemenců s přechody až do křemitých slepenců (prokřemenělé šterkopísky). Někde tvoří uhelné lupky v křemencích tenké proplástky. Místy se zase objevují kaolinitické jíly – nápadné horizonty jílových poloh s písčitou příměsí. V kaolinitických jílech se objevuje pyrit tvořící nepravidelné a často velké konkrce. Podloží terciérních uloženin starosedelského souvrství tvoří porfyrická žula a plášť krystalických břidlic (Šantrůček 1961).

Po uložení starosedelského souvrství následuje pestrý sled sladkovodních a přemístěných vulkanických uloženin nazývaných jako novosedelské souvrství. Ukládání hornin již probíhalo v hranicích vyvíjející se sokolovské pánve. Novosedelské souvrství je složeno ze souborů facií, které se mnohonásobně opakují a prolínají. Jsou to uloženiny vulkanoklastické, lakustrinní a rašelinní. (Rojík 2006a). Mocnost souvrství kolísá od několika metrů v západní části pánve do 150 metrů u Nového Sedla v okolí Doupovských hor, kde dominují pyroklastika, dosahuje toto souvrství až 350 metrů. Základním prostředím byla bezodtoká pánev se soustavou jezer (Dopita a kol. 1985). Novosedelské souvrství spočívá diskordantně na hranici s podložím, často je pro něj typické zvětřávání, denudace, kaolinizace, náhlá změna litologie a tvorba durikrust. (Rojík 2006a).

Terciérní vulkanoklastika (oligocén/miocén) mají měnící se mocnost od 30 do 60 metrů. Charakteristické horniny jsou tufy, tufové aglomeráty a rozplavené tufity rozložené kaolinizací a bentonitizací na horniny jílového vzhledu. Významně obsahují siderit a dále příměs anatasu, gorceixitu, analcimu a dalších vzácnějších minerálů. Tyto minerály dokazují zdroj těchto hornin v alkalickém vulkanismu. Erupční centra se nacházela v Doupovských horách a v sokolovské pánvi. Zvláštností je studovaný tzv. pemzový horizont obsahující hojně sopečné pumy. Dále je zde nápadný tzv. rudý horizont přepravených zvětřených vulkanoklastik mající trojmocné železo ve formě hematitu a goethitu (Rojík 2006a).

Ve spodní části tohoto souvrství se vyvinula uhelná sloj Josef, která je současně nejstarší slojí. Její mocnost je kolem 15 m, ale směrem k nadloží stoupá množství vulkanického materiálu, a tak se její

mocnost zvyšuje v těchto místech až na 120 m (Chlupáč a kol. 2002). Sloj Josef spočívá z větší části na starosedelském pískovci, jehož podloží tvoří žula, zkaolinizovaná často do velké hloubky. Nadloží této sloje pak tvoří 30 – 50 m mocné souvrství pestrých jíľů, které se střídají s písčitými a slídnatými polohami. Jsou zde i jíľy vzniklé rozkladem čedičových tufů. V některých místech je sloj rozdělena jíľovitým proplástkem na dvě části (Čech 1956).

Po sloji Josef následuje tzv. hlavní slojové souvrství. Charakteristické prostředí, ve kterém vznikaly sedimenty, bylo mělké zarůstající jezero (bažina) na fluviolakustrinní akumulární plošině, do něhož ústily říční toky (Dopita a kol. 1985). Bylo to klidnější období po ukončení hlavní fáze vulkanické činnosti v okolí. Typické pro toto souvrství jsou dvě sloje: na Z a SZ se na bázi jednotky vytvořila sloj Anežka. Její mocnost je 5 – 12 m. Po ní docházelo k sedimentaci asi 10 m mocného vulkanoklastického materiálu (jíľy, písky, tufy), který se směrem k východu ztenčuje a dochází ke spojení Anežky s druhou významnou slojí pojmenovanou Antonín (Dopita a kol. 1985, Chlupáč a kol. 2002). Sloj Antonín je vyšší a stálejší než Anežka, jeho mocnost je až 30 m. Sloj Antonín je vulkanickou činností na rozdíl od dvou předešlých slojí nedotčená. Její mocné vrstvy uhlí jsou zvláště směrem k nadloží odděleny četnými proplásky jíľů (Čech 1956). V centru pánve sloje splývají a jejich mocnost je okolo 60 m. Stáří sloje Josef je palynologicky doloženo jako oligocenní, zatímco sloje Anežka a Antonín jsou zřejmě spodnomiocenní (Chlupáč a kol. 2002).

Nadloží sloje Antonín tvoří cyprisové souvrství. Pro něj je typické vyhasínání vulkanické činnosti a náhlé relativní zvýšení erozní báze, čímž došlo k zatopení rašeliniště a následnému přerušení uhlotvorby. Na slojové souvrství se tedy uložil až 180 m mocný komplex sedimentů. V karlovarsko – otovické části pánve jsou tyto jezerní sedimenty – laminované jíľovce s jemně rozptýlenými karbonáty a organickou hmotou řasového a sporového původu – lokálně nahrazeny špatně vytríděnými, zvodněnými čankovskými písky. Ty jsou nejspíše jezerně deltového původu (Dopita a kol. 1985). Cyprisové souvrství obsahuje rybí faunu (Chlupáč a kol. 2002).

3.2.4. Lom Družba v sokolovské pánvi

Lom Družba (obr. 4) se nachází v dobývacím prostoru Nové Sedlo a patří soukromé akciové společnosti Sokolovská uhelná a.s. Povrchový lom postupuje od Nového Sedla západním směrem rychlostí 100 až 130 metrů za rok. Jeho roční produkce hnědého uhlí je 2,3 miliony tun ročně. Těží se zde sloj Antonín a její mocnost dosahuje v průměru 27 metrů. (Rojík 2006b). Kromě uhlí se zde nacházejí i další těžené doprovodné suroviny. Pemza se zde objevuje v několika výchozech v severní i jižní části lomu. Její výchozy se objevují, zůstávají i mizí v závislosti na těžbě uhlí.



Obr. 4. Lom Družba z vyhlídky Pískový vrch

4. METODIKA

4.1. Terénní výzkum sopečných pórovitých hornin

Terénní výzkum v lomu Družba probíhal od roku 2007 do roku 2009. Celkem se uskutečnilo šest exkurzí s cílem objevit a zmapovat jednotlivé oblasti, kde se tyto horniny vyskytují, a to v celém lomu. Jednotlivé lokality se podařilo zmapovat jak v severní, tak i jižní části lomu. K terénní části výzkumu patřil i odběr vzorků z vybraných výchozů, fotodokumentace, zakreslení polohy jednotlivých dokumentačních bodů do důlní mapy lomu Družba, určení GPS polohy a geologický popis a charakteristika objevených lokalit pemzy.

K terénní části výzkumu lze zahrnout i návštěvu Archivu SUAS, kde byly za pomoci dr. Petra Rojíka ve vrtné dokumentaci vyhledány profily vrtů a podle popisu přítomných hornin a vytipovány ty vrty, které mohly obsahovat studované horniny. Jelikož svou pozicí a popisem odpovídaly sopečným pórovitým horninám, byly zaznamenány stejně jako nalezené lokality do důlní mapy jako další dokumentační body.

4.2. Laboratorní výzkum

Laboratorní výzkum sopečných pórovitých hornin byl zaměřen na makroskopický popis odebraných vzorků, dále na určení tvaru (tvarová analýza) hornin, mikroskopický popis, RTG difrakční rozbor, silikátovou analýzu a rtuťovou porozimetrii.

4.2.1. Makroskopický popis

U každého vzorku byl proveden makroskopický popis zohledňující charakter povrchu, barvu, makroskopicky pozorovatelné póry a další výrazné makroskopické znaky. Podle tohoto popisu byly horniny rozděleny do několika základních kategorií.

4.2.2. Tvarová analýza částic

Tvarová analýza částic sopečných pórovitých hornin se zaměřila na určení jejich velikosti a tvaru odebraných vzorků z lokalit I, II a III v severní části lomu Družba. Každé hornině bylo přiřazeno pořadové číslo a lokalita, ve které se nacházela.

Tvarová analýza zahrnovala měření nejdelší (=L), střední (=I) a nejkratší osy (=S) jednotlivých částic. Naměřené hodnoty se dosadily do vzorců: S/L a $(L-I)/(L-S)$ jejichž průsečík určil pozici v klasifikačním diagramu podle (Sneed, Folk 1958, Pettijohn a kol. 1987).

4.2.3. Příprava výbrusů a mikroskopický výzkum

Pro potřeby mikroskopického popisu studovaných hornin pomocí optické mikroskopie byly zhotoveny standardní výbrusy (Česká geologická služba, pí. Bláhová). Pro každý vzorek byly zhotoveny dva odlišné výbrusy – jeden zakrytý krycím sklíčkem, druhý nezakrytý z dílčího vzorku, v němž byl pórový prostor obarven fluorescenční látkou (Epodye, výrobce Struers, Dánsko). Fluorescenční látka byla rozpuštěna v nízkoviskózní epoxidové pryskyřici; touto směsí byl vzorek napouštěn ve vakuu. Po vytvrzení pryskyřice byl zhotoven výbrus. Metodiku přípravy vzorků s obarveným pórovým prostorem popisuje podrobně Přikryl (1998, 2007), přičemž se jedná o modifikovaný způsob přípravy původně popsany Nishiayamou a Kusudou (1994).

Výbrusy byly zkoumány v optickém polarizačním mikroskopu Leica DMLP (laboratoř optické mikroskopie, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů PřF UK) v procházejícím a odraženém viditelném světle a odraženém UV světle. Na tomto mikroskopu byla také pořízena fotografická dokumentace jednotlivých výbrusů pomocí digitálního fotoaparátu Olympus.

4.2.4. RTG difrakční rozbor

Vzhledem k velmi jemnozrnnému charakteru hornin, který neumožnil spolehlivé určení všech přítomných fází během mikroskopického rozboru v optickém mikroskopu, byla provedena doplňující prášková RTG difrakční analýza. Před vlastní analýzou byly vzorky umlety na analytickou jemnost. Každý vzorek byl proměřen na difraktometru X'Pert Pro, PANalytical B.V. (laboratoř RTG difrakční analýzy, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů PřF UK) s následujícími podmínkami měření: zdroj $\text{CuK}\alpha$, napětí 40 kV, proud 30 mA, úhlový obor 2θ : 3-70°, krok 0,02°, doba načítání 200 s (operátor Mgr. Petr Drahotka).

Vyhodnocení RTG difrakčních záznamů bylo provedeno pomocí počítačového programu X'Pert HighScore 1.0d, PANalytical B.V. s užitím databáze difrakčních spekter (PDF-2 file ICDD 2003). Originál vyhodnocených záznamů je uveden v Příloze IV této diplomové práce.

4.2.5. Silikátová analýza a stanovení stopových prvků

Pro zjištění chemického složení vybraných vzorků SO PE 1/1, SO PE 1/3, SO PE 1/4, SO PE 1/7, SO PE 2/2, SO PE 2/3 a SO PE 4/2 z lokality I byla vypracována v laboratoři ÚGMNZ Karlovy Univerzity silikátová analýza (Tab. 3).

Silikátová analýza ukazuje složení hlavních komponent. Nejdříve byly jednotlivé pevné vzorky pemzy namlety na analytickou jemnost a sušeny při pokojové teplotě. Posléze byly předány do laboratoře ÚGMNZ. Popis postupu metody silikátové analýzy u jednotlivých komponent je následující: chemicky vázaná H_2O^+ a CO_2 se stanoví vážkově po žhání při 1000 °C. Po rozkladu sintrací se stanoví vážkově SiO_2 a zároveň se získá zásobní roztok, z kterého se určí TiO_2 spektrofotometricky a Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO komplexometrickou titrací. Kyselým rozkladem se získá zásobní roztok pro stanovení Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO metodou FAAS (plamenová atomová absorpční spektrometrie) a pro spektrofotometrické stanovení P_2O_5 , FeO se stanoví ze samostatného rozkladu kyselinami potenciometrickou titrací. Stanovení Li a Cr se provádí metodou FAAS z kyselého nebo sintračního rozkladu (Johnson a Maxwell 1981).

4.2.6. Rtuťová porosimetrie

Objem mezo-, makro- a hrubých pórů V_{mmh} , jejich povrchu S_{mmh} , distribuce pórů podle poloměru r , pórovitosti Por a zdánlivé rtuťové hustoty d_{Hg} byly stanoveny rtuťovou porozimetrií na sestavě porozimetrů Pascal 140 + 240 fy Thermo Electron - Porotec. Porosimetr Pascal 140 slouží jako plnicí zařízení a provádí se na něm nízkotlaké měření do tlaku 100 kPa. Porosimetr 240 pracuje v rozsahu tlaků 0,1 až 200 MPa. Měření a vyhodnocení se uskutečnily v rámci společného pracoviště ustanoveného v rámci sdružení „Laboratoř sorpční a porozimetrické analýzy“, které mezi sebou uzavřel Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie věd ČR, v.v.i. a Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta v březnu roku 2010.

Metoda rtuťové porozimetrie je založena na kapilární depresi rtuti, která vzhledem k stykovému úhlu $\varphi > 90^\circ$ nesmáčí povrch tuhé látky a do pórů může vnikat pouze účinkem vnějšího tlaku. Mezi tlakem P a poloměrem póru r existuje závislost vyjádřená tzv. Washburnovou rovnicí (Drake 1949):

$$r = \frac{-2 \cdot \gamma \cdot \cos \varphi}{P} \quad [1],$$

kde γ je povrchové napětí rtuti a φ úhel smáčení stěn póru rtutí. Jestliže v oblasti teplot kolem 25°C se podle přístrojové dokumentace zavedou střední hodnoty $\gamma = 480 \text{ mN/m}^2$ a $\varphi = 141,3^\circ$, P se vyjádří v MPa a r v nm, přejde rovnice (1) do standardního výpočtového tvaru:

$$r = \frac{750}{P} \quad [2],$$

Při použitím tlakového intervalu 0,1 – 200 MPa lze indikovat přítomnost pórů s poloměry od 3,7 nm do 58 μm , což vzhledem k zavedenému dělení pórů podle jejich průměru na mikropóry ($d < 2 \text{ nm}$), mezopóry ($d = 2\text{-}50 \text{ nm}$), makropóry ($d = 50\text{-}15000 \text{ nm}$) a hrubé póry ($r > 15000 \text{ nm}$) (IUPAC 1976, McCusker a kol. 2001) představuje možnost zachytit větší část mezopórů, celou oblast makropórů a rovněž hrubé póry.

5. VÝSLEDKY LABORATORNÍHO STUDIA SOPEČNÝCH PÓROVITÝCH HORNIN

5.1. Terénní výzkum sopečných pórovitých hornin

Bylo nalezeno deset lokalit sopečných pórovitých hornin v lomu Družba – šest v severní části a čtyři v jižní části lomu. Všechny se nacházejí v novosedelském souvrství sokolovské pánve.

V severní části se nacházejí lokality buď v blízkosti a nebo pár desítek metrů od sebe. Z jednotlivých oblastí výskytu sopečných hornin lze předpokládat profil koryta. Místní deprese subsidovala a vytvořil se terénní svah. V terénním svahu následně vznikly erozní rýhy, které se staly transportními cestami pórovitých hornin. Vedle sebe jsou ve výchozech sopečné pórovité horniny a všudypřítomný bentonit. Obě tyto horniny jsou ostře zaříznuté ve východním svahu, takže lze předpokládat, že se tyto horniny ve výchozech uložily v důsledku gravitačních proudů (Obr. 5).

Detailní popis všech nalezených lokalit včetně vytipovaných vrtů je obsahem Přílohy Ia a Ib a současně jsou připojeny i mapy důlního prostoru Ic a lokalit Id.



Obr. 5. Sever lomu Družba, I. lokalita. Klínovité těleso s profilem ve tvaru V (erozní koryto) – bentonit a sopečné pórovité horniny tvoří výplň tělesa.

5.2. Makropopis

Podle makroskopického vzhledu byly sopečné pórovité horniny rozděleny do čtyř základních kategorií (Obr. 6):

První kategorie s označením SO PE 1 („Sokolov pemza“ kategorie 1) má hladký povrch, výrazně světlou až bílou barvu, je pórovitá a občas má na povrchu siderit.

Druhá kategorie SO PE 2 se vyznačuje na rozdíl od první hlavně svým hrubým povrchem, její barva je světlá, ale může být i tmavá a je na ní většinou výrazný siderit (může být až tzv. sideritizovaná).

Třetí kategorie SO PE 3 má hrubý povrch, šedou barvu a je bez pórovitosti. Tato hornina se typické pemze makroskopicky nepodobá.

Poslední čtvrtá kategorie SO PE 4 je charakteristická světlou až bílou barvou, její povrch může být jak hladký tak i hrubý, je pórovitá a uvnitř je červeně či fialově zbarvena. Všechny vzorky kategorie SO PE 4 byly úlomky horniny.

Pro znázornění v klasifikačním diagramu určující tvar hornin (Obr. 7) je kategorie SO PE 1 naznačena červenou barvou, kategorie SO PE 2 modrou barvou a SO PE 3 oranžovou barvou. Kategorie SO PE 4 vyznačena v trojúhelníku není, jelikož všechny odebrané vzorky byly úlomky horniny, u nichž se tvarová analýza neprováděla.



Obr. 6. Makroskopicky odlišitelné kategorie sopečných hornin ze sokolovské pánve. SO PE 1 je charakteristická bílou barvou, hladkým povrchem a pórovitostí. SO PE 2 se vyznačuje světlou až tmavou barvou, hrubým povrchem a obsahuje hodně sideritu. SO PE 3 má hrubý povrch, šedou barvu a je bez pórovitosti. Poslední kategorie SO PE 4 je světlá až bílá, má hladký i hrubý povrch, je pórovitá a uvnitř má červenou či fialovou jílovitou výplň.

5.3. Tvarová analýza částic

Klasifikační diagram určující tvar hornin obsahuje 10 hlavních tříd tvarů hornin. Aby se mohl určit tvar každé odebrané částice, bylo nutné změřit jejich osy a dosadit tyto hodnoty do určených vzorců. Hodnoty změřených os každé částice (kromě těch, které jsou označeny jako úlomek – nelze udělat tvarovou analýzu) jsou uvedeny v Příloze II.

Po dosazení všech odebraných vzorků bylo zjištěno, že z 10-ti tříd tvarů hornin mají sopečné pórovité horniny tvar kompaktní, kompaktně – prodloužený, kompaktně – deskovitý, kompaktně – ostrý, prodloužený, deskovitý, ostrý, velmi prodloužený a jeden vzorek měl velmi deskovitý tvar (Obr. 7).

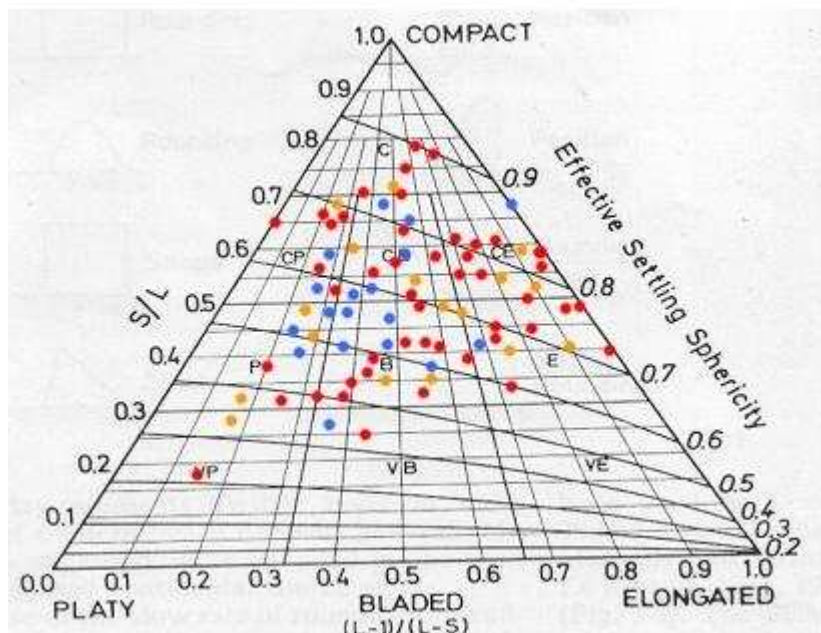
Jako příklad uvádím výpočet SO PE 1/1 z lokality I :

$$L= 7,9 \text{ } I= 6,8 \text{ } S= 3,3$$

$$S/L= 3,3/7,9= 0,42$$

$$(L-I)/(L-S) = (7,9- 6,8)/(7,9- 3,3) = 0,24$$

Průsečík 0,42 a 0,24 spadá do pole s označením P, což znamená deskovitý tvar horniny.



Obr. 7. Klasifikační diagram s 10-ti hlavními třídami tvarů hornin: C (compact) = kompaktní, CP (compact platy) = kompaktně - deskovitý, CB (compact - bladed) = kompaktně - čepelovitý, CE (compact elongate) = kompaktně - prodloužený, P (platy) = deskovitý, B (bladed) = čepelovitý, E (elongate) = prodloužený, VP (very platy) = velmi deskovitý, VB (very bladed) = velmi čepelovitý, VE (very elongate) = velmi prodloužený. Podle barev: červená = kategorie SO PE 1, modrá = kategorie SO PE 2, oranžová = kategorie SO PE 3 (Sneed, Folk 1958, Pettijohn a kol. 1987).

Každý odebraný vzorek sopečných pórovitých hornin je popsán podle svých základních makroskopických znaků včetně měření délky jeho os v Příloze II.

5.4. Mikroskopický výzkum

Důležitou úlohu při výzkumu sehrála jeho mikroskopická část. Pro pemzu je typický vysoký obsah křemene, dále proměnlivé množství živců, amfibolu, feromagnetických minerálů atd. Nejdříve se výzkum zaměřil na vyhodnocení výbrusů v optickém polarizačním mikroskopu v procházejícím a odraženém viditelném světle.

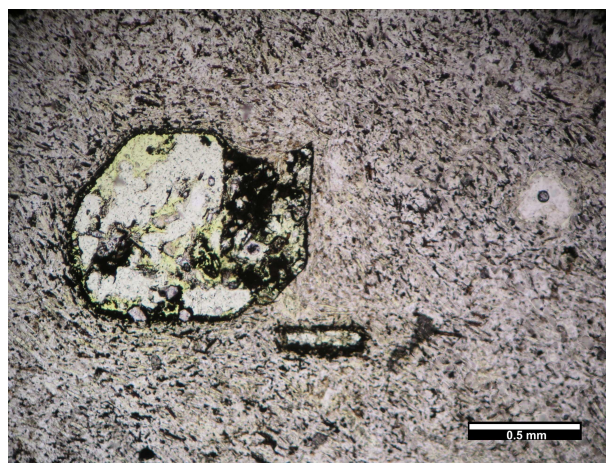
Struktury podle stupně krystalizace ve výbrusech sopečných hornin byly identifikovány dvojího typu. Prvním typem je tzv. holokrystalická struktura, v níž je veškerá hmota horniny tvořena z krystalovaných minerálů (Dudek a kol. 1962). Druhý určený typ struktury je tzv. hemikrystalická struktura, která se vyznačuje přítomností sklovité fáze vedle krystalů v hornině (Dudek a kol., 1962). Sklovitá struktura, ve které většina nebo veškerá hmota utuhla jako sklo, nalezena ve výbrusech nebyla.

Pro holokrystalickou strukturu je typická základní hmota tvořena malými tenčími tabulkovými lištami minerálů živců. Tyto lištovité minerály jeví u některých výbrusů proudovité uspořádání okolo

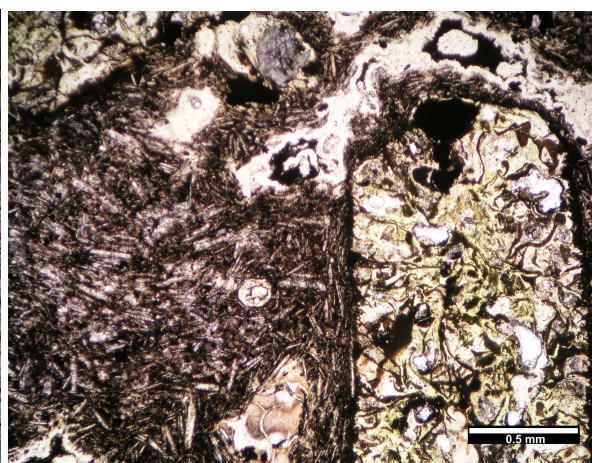
vyrostlic, většinou jsou však lišty v základní hmotě neuspořádané a vyskytují se společně se sklovitou hmotou.

Dalším dělítkem struktur je velikost součástek v hornině. Pro výbrusy je charakteristická tzv. porfyrická struktura vyznačující se výrazně velikostně odlišnými vyrostlicemi, které spočívají v jemnoznější holokrystalické, hemikrystalické nebo sklovité základní hmotě.

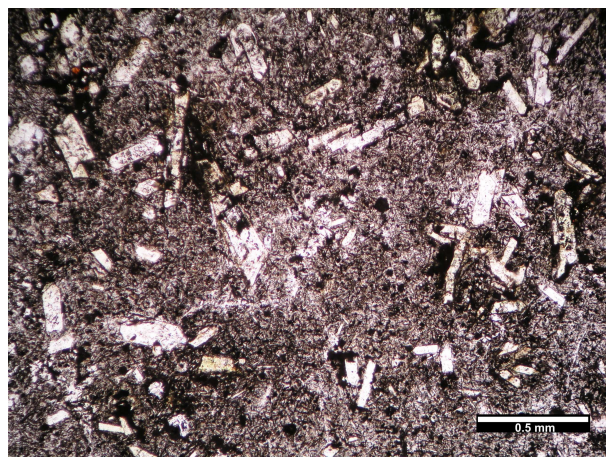
Vyrostlice (porfyry) jsou ve výbrusech hypidiomorfně až xenomorfně omezené, také výrazně korodované. Mezi typické zástupce patří křemen, klinopyroxen, egirín, občas zrna granátu. Typický je také výskyt rudních minerálů buď jako akcesorických v základní hmotě nebo jako vyrostlic větší velikosti. Dalším znakem je tzv. proželeznění některých výbrusů (Obr. 8).



výbrus I/1



výbrus I/3



výbrus I/4



výbrus I/6

Obr. 8. Polarizační mikroskopie vybraných výbrusů: výbrus I/1 porfyrická struktura s trachytickou strukturou základní hmoty, výbrus I/3 porfyrická struktura, výbrus I/4 porfyrická struktura s hyalopilitickou strukturou základní hmoty, výbrus I/6 rovnoměrně zrnitá struktura.

Další metoda mikroskopického studia sopečných pórovitých hornin byla založena na pozorování výbrusů v polarizačním mikroskopu v odraženém ultrafialovém světle. Byl zjišťován hlavně geometrický tvar pórů na základě pozorování pórového prostoru obarveného fluorescenční látkou se žlutozelenou sekundární luminiscencí.

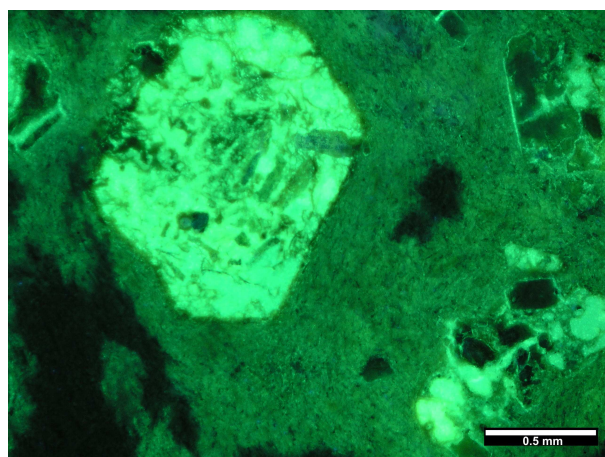
V základní hmotě se projevuje tzv. mikropórovitost, která může mít charakter mikrotrhlinek, většinou je ale kompaktní a vyskytuje se v nepravidelných shlucích ve výbrusu a zvláště okolo vyrostlic nebo pórů jak je znázorněno na Obr. 9 ve výbrusu I/1. Základní hmota však může být i bez mikropórovitosti (viz výbrus I/2).

Pozorováním vyšlo najevo, že geometrický tvar pórů ve výbrusech je různorodý. Byl zjištěno tzv. „vrůstání pórů do minerálů“ jako ukazuje výbrus I/1. Pór tedy vyplňuje částečně nebo zcela některé přítomné minerály v hornině a jeho tvar je stejný jako má daný minerál. Tento typ vrůstání pórovitosti do minerálů byl objeven téměř ve všech výbrusech. Je to tedy typický znak pórovitosti těchto hornin.

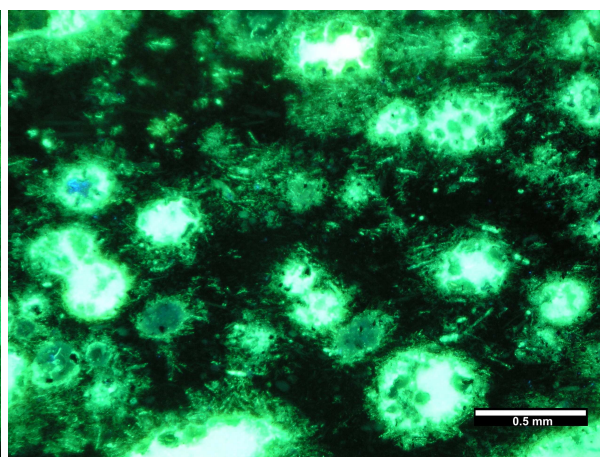
Dalším typem tvaru je tzv. „rozvětvený“ tvar póru. Je typický nepravidelností, bez omezení krystalovými plochami, příklad je vyobrazen výbrusem I/2 v Obr. 9. Lze možno určit jakási jádra pórů (výraznější fluorescenční barva) a okolo nich větvičkovitě propojená struktura póru. Tento typ se nachází ve výbrusech I/2, I/3, I/4 a II/3.

Třetí typ tvaru se projevuje jako tzv. mikrotrhlina, ve výbrusu výrazná, velmi tenká a dlouhá. Může vyplňovat poruchu v hornině. Znázorněna je výbrusem I/7, kde se pórovitost projevuje v celé trhlině. Ve výbrusu je však trhlina I/7 vyplňována fluorescenční látkou přerušovaně, ale celkem pravidelně. Trhliny se vyskytují ve výbrusech I/3, I/4, I/7 a II/3.

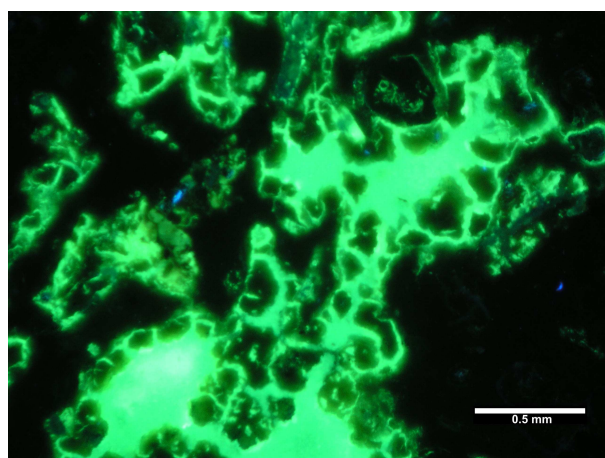
Detailně jsou všechny výbrusy popsány v Příloze III.



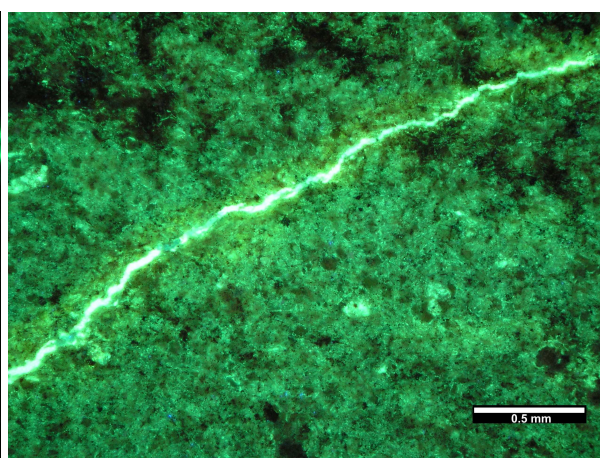
výbrus I/1



výbrus I/5



výbrus I/2



výbrus I/7

Obr. 9. Fluorescenční metoda mikroskopie vybraných výbrusů. Různé geometrické tvary a typy pórů sopečných pórovitých hornin: výbrus I/1 a I/5 ukazují vrůstání pórů do minerálu a pór je ohraničen krystalickým tvarem minerálu, výbrus I/2 znázorňuje tzv. rozvětvený pór a I/7 tzv. trhlínu.

5.5. RTG difrakční rozbor

Výsledky RTG difrakčního rozboru jednotlivých vzorků z lokality I jsou následující: pro vzorek SO PE 1/1 byly identifikovány jako přítomné fáze albit, kristobalit, křemen, siderit a chloritoid, pro vzorek SO PE 1/3 křemen, ananas, kaolinit, albit a olivín, vzorek SO PE 1/4 obsahuje sanidin, kristobalit, fluorapatit, hauyn, kaolinit, kaolinit-montmorillonit, vzorek 1/7 obsahuje albit, křemen, kaolinit a albit s nízkým obsahem Ca, vzorek 2/2 je typický fázemi jako je siderit, sanidin, ananas, kaolinit, xonotlit, forsterit a illit, vzorek 2/3 zahrnuje siderit, sanidin, křemen, anatas, goethit, kristobalit, vzorek 4/2 sanidin, křemen, kaolinit, rutil, apatit obsahující Cd, fayalit a celestit (Tab. 7).

RTG difrakční rozbor u jednotlivých vzorků je uveden v Příloze IV.

Tab. 7. Přehledné znázornění výsledků RTG difrakce vzorků sopečných pórovitých hornin.

	SO PE 1/1	SO PE 1/3	SO PE 1/4	SO PE 1/7	SO PE 2/2	SO PE 2/3	SO PE 4/2
albit	+++	+++		+++			
cristobarit	+++		+++			+++	
křemen	+++	+++		+++		+++	+++
siderit	+++				+++	+++	
chloritoid	+++						
anatas		+++			+++	+++	
kaolinit			+++	+++	+++		+++
kaolinit- montmorillonit			+++				
illit							
sanidin			+++		+++	+++	+++
fluorapatit			+++				
hauyn			+++				
xonotlit					+++		
illit					+++		
olivín		+++			+++		
goethit						+++	
rutil							+++
apatit							+++
celestite							+++
phillipsit					+++		

5.6. Silikátová analýza a stanovení stopových prvků

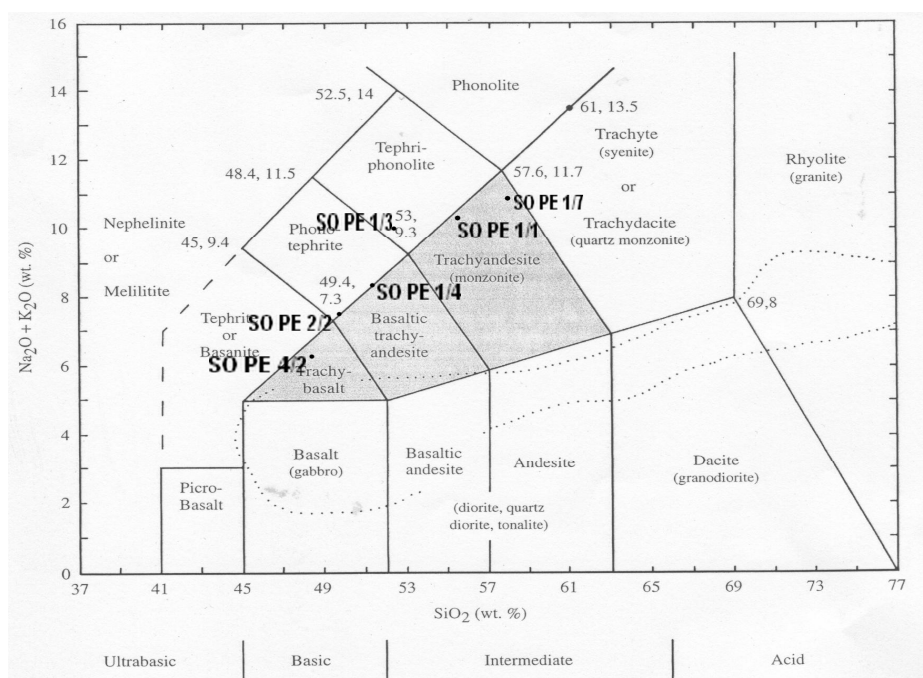
Pro stejné vzorky SO PE 1/1, SO PE 1/3, SO PE 1/4, SO PE 1/7, SO PE 2/2, SO PE 2/3 a SO PE 4/2 z lokality I byla vyhotovena i silikátová analýza a stanoven obsah stopových prvků (Tab. 8 a Tab. 9).

Tab. 8. Silikátová analýza hlavních komponent (ÚGMNZ 2010).

vzorek	SO PE 1/1	SO PE 1/3	SO PE 1/4	SO PE 1/7	SO PE 2/2	SO PE 2/3	SO PE 4/2
SiO ₂	56,12	52,83	51,36	58,02	49,66	16,22	48,62
TiO ₂	1,32	1,86	2,92	1,25	1,95	0,79	3,96
Al ₂ O ₃	19,22	20,04	22,21	19,63	21,30	8,65	21,87
Fe ₂ O ₃	3,17	4,37	3,16	3,01	3,53	6,87	5,10
FeO	2,15	0,40	0,56	1,08	3,10	32,43	<0,20
MnO	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,28	0,01
MgO	0,30	0,42	0,65	0,23	0,66	1,24	0,64
CaO	2,07	1,19	2,02	1,87	1,95	2,49	2,11
Na ₂ O	4,58	1,31	1,84	4,87	2,34	0,46	0,70
K ₂ O	5,65	8,84	6,34	5,87	5,19	1,61	5,49
P ₂ O ₅	0,54	1,24	1,02	0,47	1,69	1,47	1,81
H ₂ O-	1,02	0,26	3,37	1,02	2,06	1,18	5,08
H ₂ O+	1,42	6,19	3,95	1,27	3,16	2,22	4,15
CO ₂	2,19	0,71	0,31	1,11	2,91	23,61	0,27
Součet	99,79	99,68	99,73	99,73	99,54	99,52	99,81

Výsledky silikátové analýzy byly využity pro klasifikaci studovaných hornin v TAS diagramu (Obr. 10) ukazující složení magmatických hornin v závislosti na obsahu SiO₂, Na₂O + K₂O. Zakreslené body jsou vzorky hornin jen vzorek SO PE 2/3 do diagramu vložen nebyl, protože svým složením do diagramu nezapadá.

Po vynesení jednotlivých vzorků sopečných hornin do diagramu bylo možno určit jejich přesný název podle svého chemického složení. Vzorek SO PE 1/1 byl určen jako trachyandezit, vzorek SO PE 1/3 jako tefrifonolit, SO PE 1/4 je na hranici mezi fonotefritem a bazaltickým trachyandezitem, vzorek SO PE 1/7 je určen jako trachyandezit, vzorek SO PE 2/2 je opět na hranici mezi fonotefritem a bazaltickým trachyandezitem a poslední vzorek horniny SO PE 4/2 je určen jako trachybazalt.



Obr. 10. Zobrazení jednotlivých vzorků sopečných pórovitých hornin v TAS klasifikačním diagramu vulkanických hornin.

Tab. 9. Hodnoty stopových prvků (ÚGMNZ 2010).

vzorek	SO PE 1/1	SO PE 1/3	SO PE 1/4	SO PE 1/7	SO PE 2/2	SO PE 2/3	SO PE 4/2
Y	8,11	13,80	26,86	7,79	48,18	26,91	22,93
Zr	232	426	362	211	269	193	492
Ba	1517	3999	1438	1336	3227	1053	2801
La	47,50	87,48	66,58	47,21	194,43	78,73	115,63
Ce	76,81	193,96	128,86	72,01	528,36	163,71	203,46
Pr	7,27	16,23	14,35	7,33	58,35	16,82	22,03
Nd	24,14	54,03	54,03	24,68	210,53	63,63	75,73
Sm	3,44	7,30	8,88	3,52	29,11	10,62	10,85
Eu	1,81	2,15	2,96	1,96	7,82	3,12	3,01
Gd	3,37	7,31	8,35	3,39	27,14	9,96	10,31
Tb	0,36	0,71	0,99	0,35	2,83	1,18	1,09
Dy	1,59	2,96	4,60	1,56	11,87	5,45	4,70
Ho	0,28	0,49	0,83	0,27	1,90	0,95	0,79
Er	0,83	1,31	2,33	0,77	4,98	2,69	2,14
Tm	0,11	0,14	0,28	0,09	0,50	0,34	0,23
Yb	0,69	0,83	1,75	0,56	2,79	2,24	1,35
Lu	0,10	0,12	0,25	0,08	0,39	0,34	0,19
Hf	5,33	9,96	8,49	5,06	8,05	4,72	11,35
Ta	23,64	22,00	36,42	22,07	33,89	18,05	41,35
Th	11,74	9,25	16,61	13,45	14,04	8,84	23,88
U	1,11	0,96	1,43	0,93	3,79	3,73	4,64

5.7. Rtuťová porozimetrie

Metodou rtuťové porozimetrie byly vyhodnoceny vzorky sopečných pórovitých hornin opět z lokality I, a to konkrétně vzorek SO PE 1/1, SO PE 1/3, SO PE 1/4, SO PE 2/1, SO PE 2/2, SO PE 2/3, SO PE 4/1, SO PE 4/3 a SO PE 4/8.

Tabulka 10 ukazuje výsledky jednotlivých veličin, a to objemové hmotnosti pórů V , povrchu pórů Sc , poloměrů pórů r , zdánlivé rtuťové hustoty d_{Hg} a pórovitosti Por a tyto výsledky jsou měřeny pro každý vzorek dvakrát.

Tab.10. Základní fyzikální vlastnosti stanovené a vypočtené pomocí rtuťové porozimetrie (ÚGMNZ 2010).

Vzorek	V (mm ³ /g)	Sc (m ² /g)	r (nm)	d_{Hg} (g/cm ³)	Por (%)
SO PE 1/1	86,50	8,02	446	2,14	18,52
	86,77	8,12	459	2,14	18,59
SO PE 1/3	137,38	10,99	1610	1,66	22,77
	138,17	10,24	1709	1,67	23,04
SO PE 1/4	222,12	20,26	415	1,63	36,24
	218,04	19,21	410	1,64	35,68
SO PE 2/1	161,94	13,34	504	1,92	31,14
	167,52	13,84	512	1,87	31,27
SO PE 2/2	180,58	17,55	232	1,73	31,26
	180,28	17,22	234	1,72	31,02
SO PE 2/3	108,11	10,09	12	2,37	25,66
	115,75	10,06	1307	2,28	26,44
SO PE 4/1	228,97	19,22	1318	1,57	36,03
	223,36	18,59	1364	1,58	35,27
SO PE 4/3	151,16	13,98	277	1,89	28,59
	153,99	14,35	268	1,89	29,08
SO PE 4/13	239,26	21,01	1334	1,57	37,63
	241,29	20,32	1421	1,59	38,30

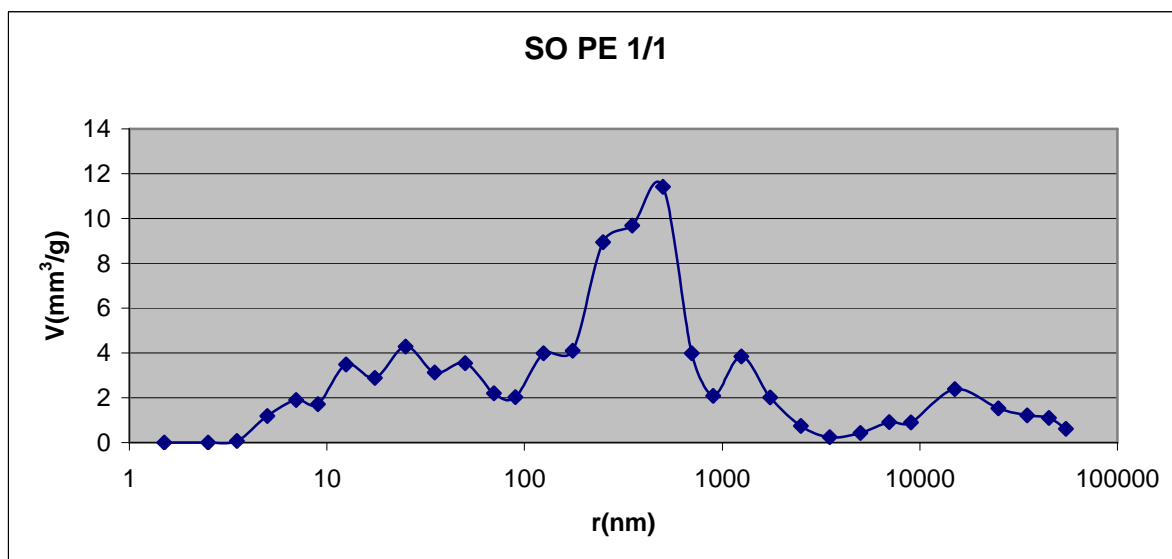
Naměřené výsledky se použily na sestavení četnostního rozdělení pórů různé velikosti (resp. objemu). Tyto křivky odpovídají závislosti objemu vtlačené rtuti na poloměru pórů. Pro každý vzorek bylo měření rtuťovou porozimetrií provedeno dvakrát, grafy jsou tedy sestaveny z průměrných hodnot (Obr. 11 až 18). Protokoly měření jsou uvedeny v Příloze V.

Schneider (2007) uvádí, že základem klasifikace pórů podle rozměru je skutečnost, že některé fyzikální procesy probíhají v pórech různého rozměru odlišným mechanismem. V současné době se používá tzv. Dubininova klasifikace založená na odlišnosti průběhu fyzikální adsorpce plynů (př. dusík, argon, krypton..) v porézních látkách. Podle Dubinina rozlišujeme : mikropóry – rozměr menší než 2 nm, mesopóry – rozměr mezi 2 nm a 50 nm a makropóry – rozměr větší než 50 nm.

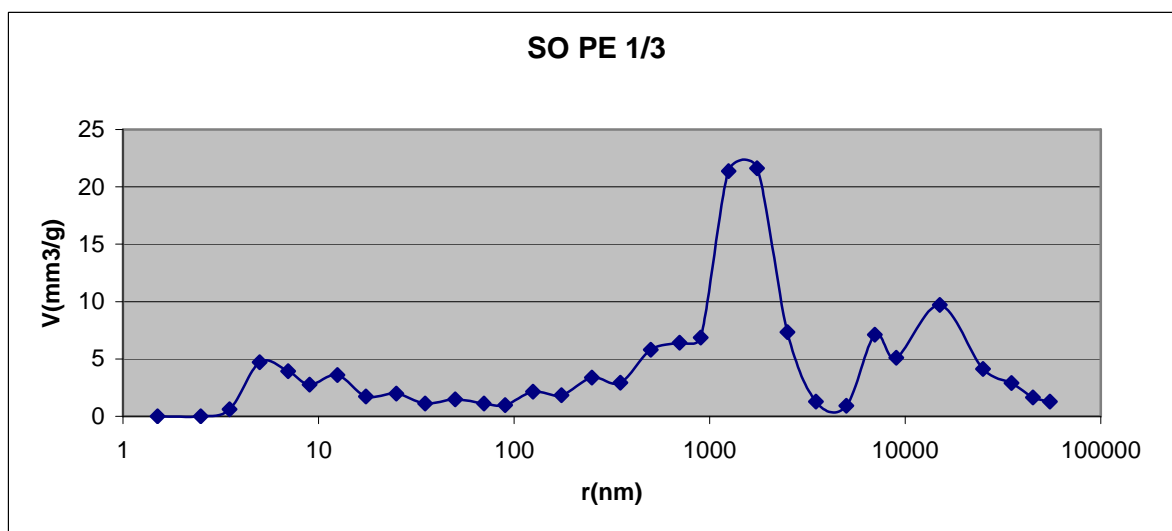
Tabulka 11 ukazuje procentuální podíl mesopórů ($V_{me} = 2 - 50$ nm), makropórů ($V_{ma} = 50 - 15\,000$ nm) a hrubých pórů ($V_h > 50\,000$ nm) z celkového objemu pórů v dané hornině.

Tab. 11. Procentuální vyjádření mezopórů (V_{me}), makropórů (V_{ma}) a hrubých pórů (V_h).

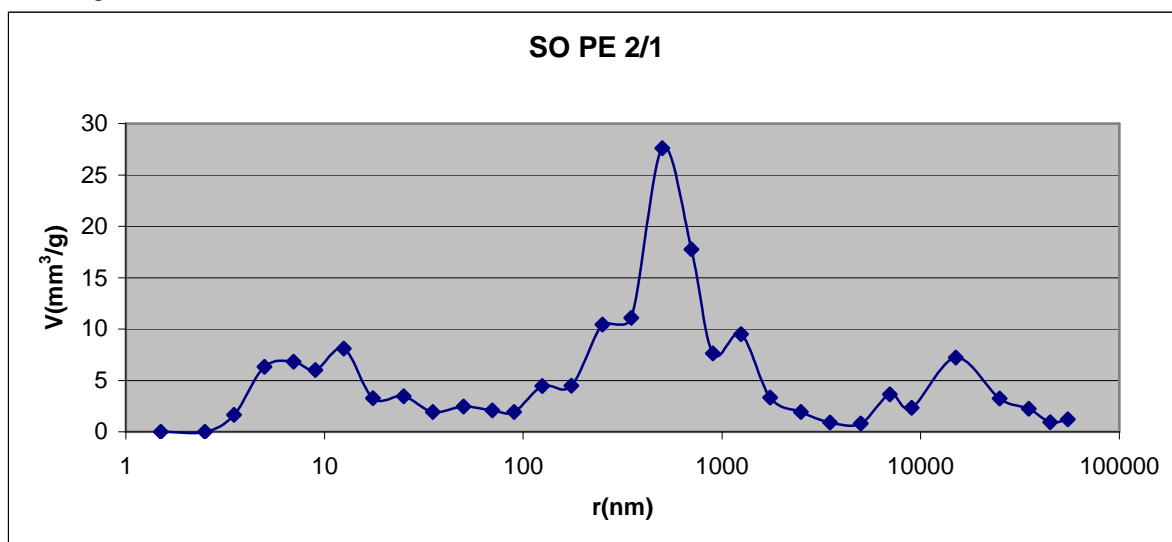
vzorek	V (mm³/g)	V (%)	V_{me} (mm³/g)	V_{me} (%)	V_{ma} (mm³/g)	V_{ma} (%)	V_h (mm³/g)	V_h (%)
SO PE 1/1a	86,50	100	18,25	21,1	60,9	70,4	7,35	8,5
SO PE 1/1b	86,77	100	19,00	21,2	61,44	70,8	6,33	7,3
SO PE 1/3a	137,38	100	21,83	15,9	94,52	68,8	21,03	15,3
SO PE 1/3b	138,17	100	19,00	13,8	100,85	73,0	18,32	13,3
SO PE 1/4a	222,12	100	66,26	29,8	139,65	62,9	16,21	7,3
SO PE 1/4b	218,04	100	63,51	29,1	141,18	64,7	13,35	6,1
SO PE 2/1a	161,94	100	38,90	24,0	108,54	67,0	14,50	8,9
SO PE 2/1b	167,52	100	36,18	21,6	116,14	69,3	15,20	9,1
SO PE 2/2a	180,58	100	55,00	30,5	100,14	55,5	25,44	14,1
SO PE 2/2b	180,28	100	51,05	28,3	104,29	57,9	24,94	13,8
SO PE 2/3a	108,11	100	35,37	32,7	53,19	49,2	19,55	18,1
SO PE 2/3b	115,75	100	37,21	32,2	70,53	60,9	8,01	6,9
SO PE 4/1a	228,97	100	66,28	28,9	147,38	64,4	15,32	6,69
SO PE 4/1b	223,36	100	56,91	25,5	152,38	68,2	14,07	6,3
SO PE 4/3a	151,16	100	44,39	29,4	99,60	65,9	7,17	4,7
SO PE 4/3b	153,99	100	43,99	28,6	102,17	66,3	7,83	5,1
SO PE 4/13a	239,26	100	75,16	31,8	147,28	61,6	16,82	7,0
SO PE 4/13b	241,29	100	67,28	27,9	158,59	65,7	15,42	6,4



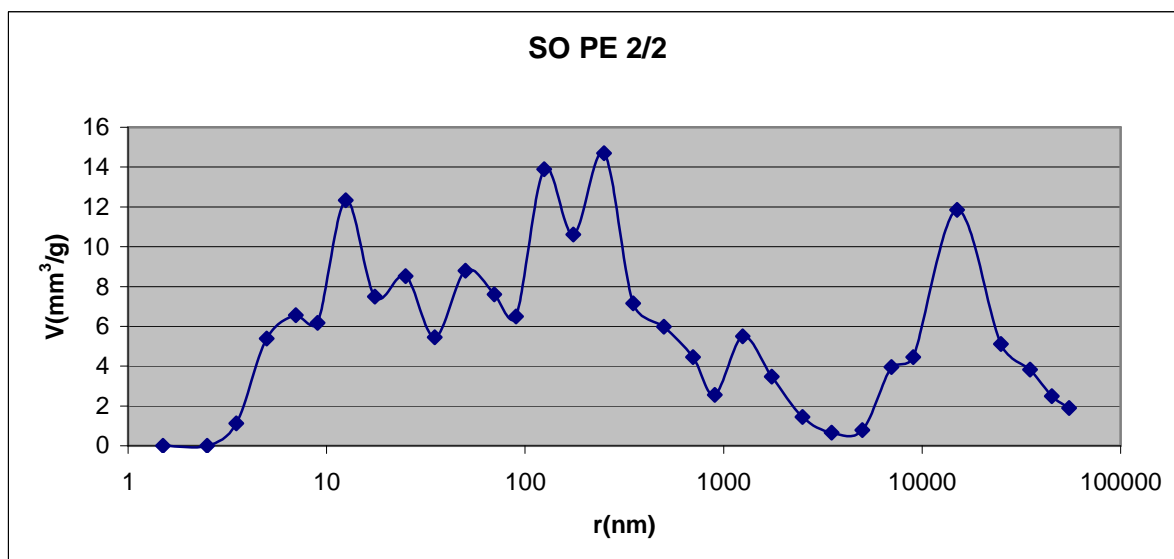
Obr. 11. Graf SO PE 1/1



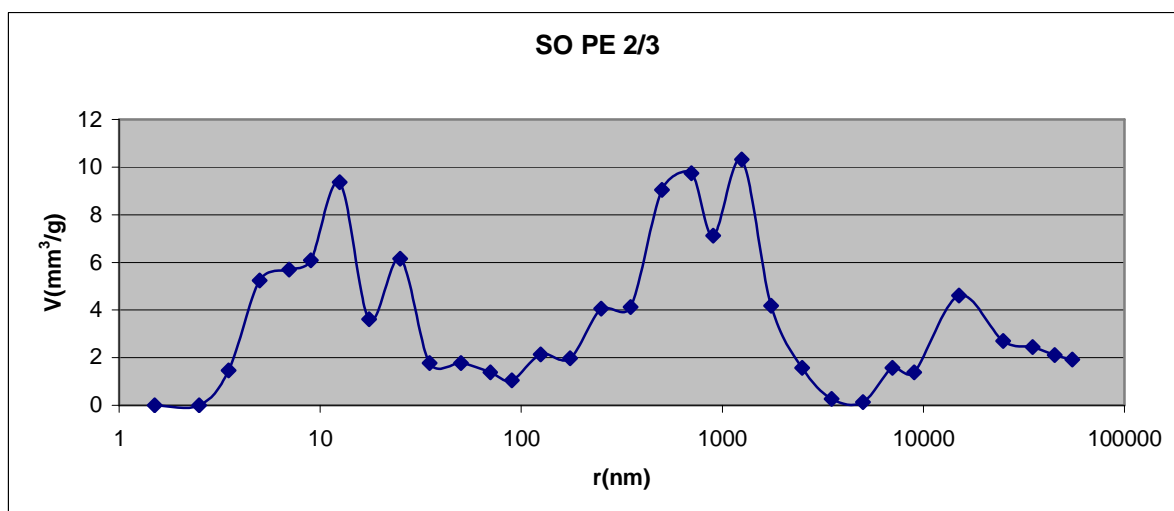
Obr. 12. graf SO PE 1/3



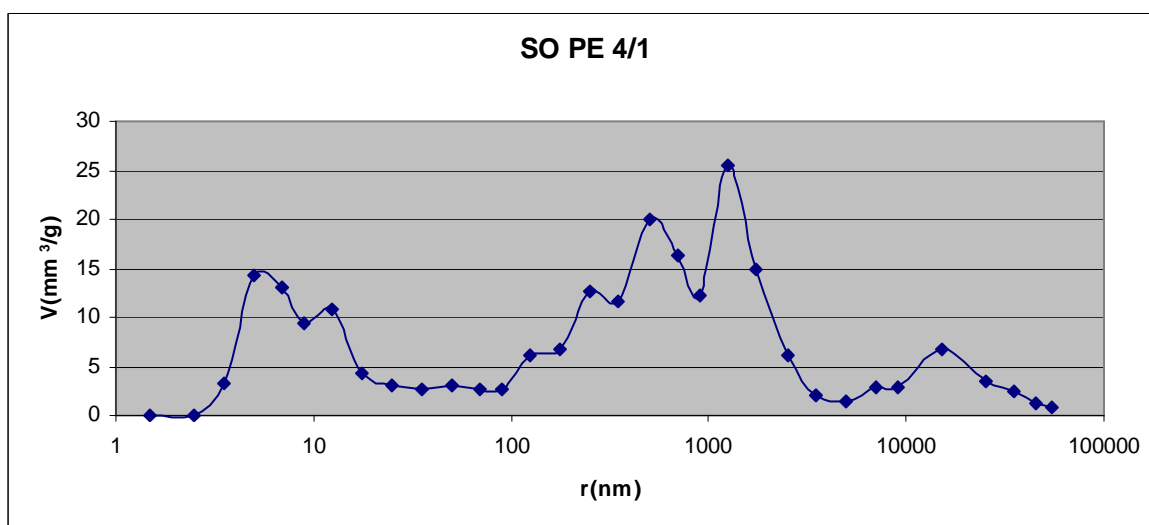
Obr. 13. Graf SO PE 2/1



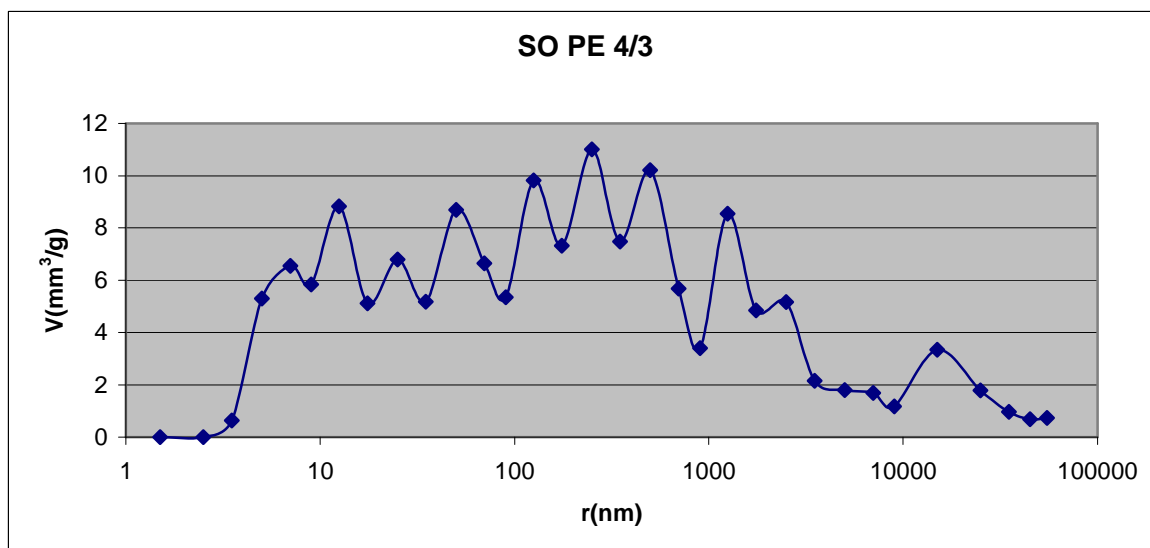
Obr. 14. Graf SO PE 2/2



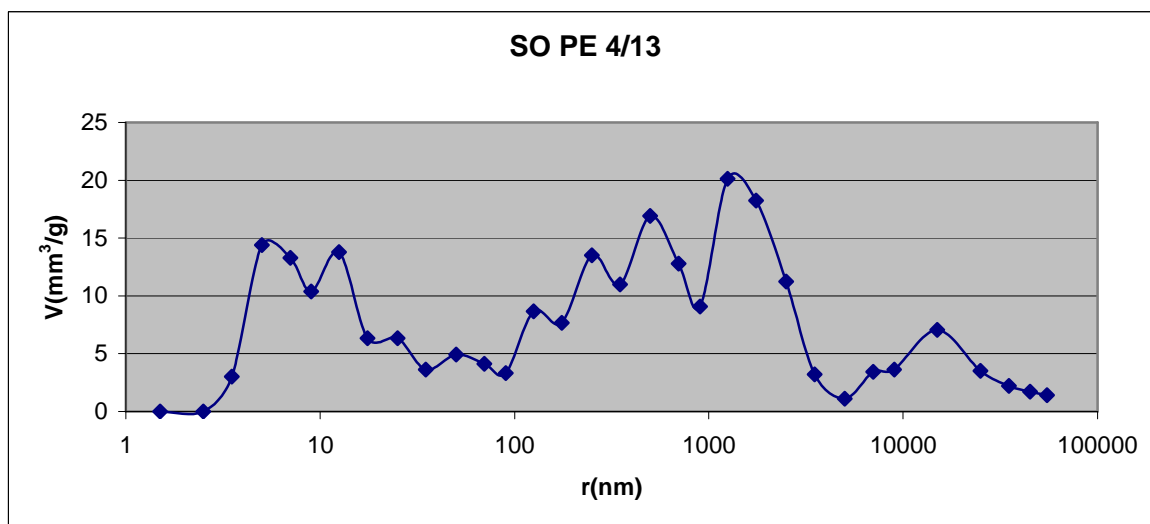
Obr. 15. Graf SO PE 2/3



Obr. 16. Graf SO PE 4/1



Obr. 17. Graf SO PE 4/3



Obr. 18. Graf SO PE 4/13

6. DISKUZE

6.1. Geologická pozice sopečných pórovitých hornin

Terénní výzkum pomohl zmapovat uložení a výskyt těchto sopečných pórovitých hornin v oblasti sokolovské pánve. Podle Harbena a Kužvarta (1996) můžeme klasifikovat několik genetických typů ložisek pemzy. Některá ložiska reprezentují více než jeden typ uložení a tím odrážejí změny podmínek během erupce. Tyto změny mohou zahrnovat například variace ve směru větru, příměs vody v magmatu, změny ve složení magmatu nebo změny ve vnitřním tlaku. Hlavní typy ložisek pemzy tedy jsou toky a dómy, ložiska vzdušného dopadu, pyroklastické toky a epiklastická ložiska (Harben a Kužvart 1996). Podle typu uložení a rozmístění nalezených lokalit sopečných pórovitých hornin bylo ve spolupráci s panem dr. Rojíkem určeno uložení těchto hornin v erozní rýze (korytu), která se stala transportní dráhou těchto hornin. Naznačuje to hlavně profil těles některých lokalit ve tvaru V. Bylo by tedy možné je přiřadit k epiklastickým ložiskům, které zahrnují erozy, transport a uložení vodou, větrem nebo pohybem mas (Geitgey 1994). V případě sopečných hornin by transportní medium mohl být bahnotok neboli lahar, což je bahenní proud a jeho uložení vzniklé tokem zvodnělého sopečného popela (unášejícího úlomky až velké bloky láv) po úbočí a předpolí sopky a vzniká účinky lijáků nebo táním sněhu (Petránek 1993). Lorenz a Gwosdz (2003) se také zmiňují o možnosti uložení jako lahar. Sopečné pórovité horniny se nacházejí ve vulkanodetrickém souvrství a v severní části lomu jsou tyto erozní rýhy uloženy kolmo k novosedelskému zlomovému pásmu. Typicky jsou uloženy v jemnozrnné bentonitové základní hmotě a některé lokality se vyznačovaly pravidelným zvrstvením. Jejich nadloží pak tvoří tzv. rudý horizont, což je soubor přepravených zvětralých vulkanoklastik, které si dochovaly trojmocné železo ve formě hematitu a goethitu. Terciérní vulkanoklastika ve vulkanodetrickém souvrství jsou tvořena tufy, tufovými aglomeráty a rozplavenými tufity charakteristickými svým druhotným rozložením kaolinizací nebo bentonitizací na horniny jílového vzhledu či zpevněným sideritem. Tyto horniny pak tvoří podloží i nadloží sopečných pórovitých hornin. Dále bylo při terénním mapování zjištěno, že se na některých lokalitách vytvořila tzv. hydrogeologická bariéra (například u lokality II) mezi nadložím a horizontem sopečných pórovitých hornin, který je propustnější a voda nemůže vzlínat. Sopečné pórovité horniny tedy působí jako hydrologický kolektor zadržující vodu – přivádí vodu od okraje do centra pánve, způsobují výkvěty síranů.

Za celou historii nebyl zjištěn zdroj efusivních hornin sokolovské pánve, a tím pádem i přímý zdroj sopečných pórovitých hornin. Nejbližší potenciální zdroje by mohly být Andělská hora a Šemnický vrch, které se nacházejí nedaleko Karlových Varů. Tyto lokality jsou petrografickým složením podobné, jsou to kyselé vulkanické horniny trachytického a fonolitického složení.

6.2. Petrografická charakteristika

Prvním kritériem pro zařazení bylo zjištění skutečné barvy odebraných vzorků po očištění. Podle Harbena (2002) je barva pemzy bílá, šedá, růžová, světle žlutá nebo dokonce hnědá či černá (bazaltická pemza). Odebrané vzorky byly povětšinou velmi světle bílé, občas se vyskytl šedivý vzorek. Jejich povrch byl u některých pokryt i sideritem. Povrch horniny byl hladký, ale i hrubý (zvětralý povrch se sideritem). Barva, povrch a pórovitost byly hlavními kritérii při rozdělování odebraných vzorků do čtyř kategorií. Nejtypičtější pro zkoumané sopečné pórovité horniny byla kategorie SO PE 1 a SO PE 2. Kategorii SO PE 1 tvořily velmi světlé až bílé horniny, oválného tvaru s hladkým povrchem a náznakem pórovitosti. Kategorie SO PE 2 se vyznačovala světlou až tmavší (šedou) barvou, hrubým povrchem a na povrchu a uvnitř dutinek se nacházel siderit. Kategorie SO PE 3 zahrnovala horniny, které se makroskopicky vůbec nepodobaly horninám z první a druhé kategorie, byly to odlišné horniny, které se do dalších metod výzkumu nezahrnovaly. Poslední kategorie SO PE 4 byla svým vzhledem totožná s SO PE 1, ale její zvláštností byla výplň jílovitého

vzhledu barvy červené až fialové uvnitř horniny. Také byly všechny tyto horniny úlomky a neměly tedy zachován původní tvar horniny. Podle tohoto popisu hornin a následného zařazení do kategorií je zřejmé, že mezi odebranými sopečnými pórovitými vzorky hornin se nacházely i jiné horniny odlišného složení.

Velikost valounků v každé kategorii byla různá od centimetrových až po valouny mající přes deset cm (nejdelší osa), v terénu byly zřídka viděny valouny až okolo 15 cm. Klasifikace pyroklastických hornin podle Bushe (1973) uvádí jejich rozdělení podle velikosti v mm: méně než 2 – 4 mm je uváděn popel (zpevněná hornina - tuf), 4 – 32 mm jsou tzv. lapili (lapilový tuf) a pro více než 32 mm je uváděn termín bomby mající kulatý tvar (aglomeráty) nebo balvany mající ostrohranný tvar (brekcie). Podle této klasifikace byly tedy nalezeny horniny odpovídající jako lapili, větší velikosti pak bomby a balvany.

Struktury podle stupně krystalizace ve výbrusech sopečných hornin byly identifikovány dvojího typu. Prvním typem je tzv. holokrystalická struktura, v níž je veškerá hmota horniny tvořena z krystalovaných minerálů (Dudek a kol., 1962). Tento typ je zobrazen na obr. 7 u výbrusu I/1 a I/3. Druhý určený typ struktury je tzv. hemikrystalická struktura, která se vyznačuje přítomností sklovité fáze vedle krystalů v hornině (Dudek a kol., 1962). Tuto strukturu tvoří na obr. 7 výbrus I/4 a I/6. Sklovitá struktura, ve které většina nebo veškerá hmota utuhla jako sklo, nalezena ve výbrusech nebyla. Všechny výbrusy lze tedy shrnout podle základních typů struktur: výbrusy s holokrystalickou strukturou – výbrus I/1, I/3 a III/1 a hemikrystalickou strukturou I/2, I/4, I/5, I/6, I/7, II/1, II/2, II/3 a III/2.

Pro holokrystalickou strukturu je typická základní hmota tvořena malými tence tabulkovými lištami živců. Tyto lištovité minerály jeví u některých výbrusů proudovité uspořádání okolo vyrostlic – výbrus I/1, I/3, III/1, většinou jsou však lišty v základní hmotě neuspořádané a vyskytují se společně se sklovitou hmotou.

Dalším dělítkem struktur je velikost součástek v hornině. Pro studované výbrusy je charakteristická tzv. porfyrická struktura vyznačující se výrazně velikostně odlišnými vyrostlicemi, které spočívají v jemnozrnější holokrystalické, hemikrystalické nebo sklovité základní hmotě (výbrus I/1, I/3 a I/4 na Obr. 7). Výbrus I/6 se však od ostatních liší a byl určen jako rovnoměrně zrnitý (zrna podobné velikosti). Porfyrická struktura s holokrystalickou základní hmotou mající trachytickou strukturu byla určena u výbrusu I/1, I/3 a III/1. Porfyrická struktura s hemikrystalickou základní hmotou mající hyalopilitickou strukturu byla určena u výbrusů I/4, I/5, II/1, II/2 a III/2.

Vyrostlice jsou ve výbrusech hypidiomorfně až xenomorfně omezené, také výrazně korodované. Mezi typické zástupce patří křemen, klinopyroxen, egirín, občas zrna granátu. Typický je také výskyt rudních minerálů buď jako akcesorických v základní hmotě nebo jako vyrostlic větší velikosti. Dalším znakem je tzv. proželeznění některých výbrusů.

Další část mikroskopického studia nasbíraných hornin se zaměřila na popis pórového prostoru pomocí fluorescenční metody. Bylo určeno několik typů geometrického tvaru přítomných pórů ve výbrusech, a to mikropórovitost přítomná v základní hmotě a dlouhé mikrotrhliny, dále rozvětvené (větvičkovité póry) nepravidelného tvaru a typické je vrůstání pórů do minerálů a tvar pórů je pak omezen krystalovými plochami minerálu. Podle Geitgeye (1994) má pemza velikost pórů menší než 1 mm a póry jsou od sebe odděleny tenkými stěnami. Lorenz a Gwosdz (2003) zase uvádějí, že průměr pórů může být v některých případech < 0,01 mm do > 20 mm, ale obvykle mezi 0,1 až 0,6 mm.

Podle Lorenze a Gwosdza (2003) geometrické tvary pórů zahrnují tvar nepravidelný, sférický (kulovitý), eliptický, prodloužený až do válcovitého (trubičkovitého) tvaru pórů s hedvábným vzhledem horniny. V některých pemzách jsou póry vzájemně propojeny a tvoří velmi propustné a vysoce absorbující horniny. V jiných naopak jsou póry izolované a oddělené a tvoří vysoce porézní

ale velmi nepropustné pemzy. Pellegrino (1966) také uvádí také existenci tzv. vnějších a vnitřních pórů mezi pevným materiálem (viz Obr. 19).



Obr. 19. Póry uvnitř pemzy: 1 – pevný materiál, 2 – vnější póry, 3 – vnitřní póry

Studované póry ve výbrusech sopečných pórovitých hornin by velikostně odpovídaly uvedenému rozpětí průměrů pórů pemzy. Geometrie pórů zahrnuje tvar nepravidelný i kulovitý, avšak vykazuje i odchylky od uvedených tvarů pórů, velmi netypické pro pemzu je přítomnost mikrotrhlin a dlouhých trhlin, které se však objevují jen v několika výbrusech.

Důležitým bodem při laboratorním výzkumu sopečných pórovitých hornin bylo vytvoření silikátové analýzy sedmi vybraných vzorků z lokality I. Jednotlivé hodnoty základních komponent jsou uvedeny v Tab. 8.

Lorenz a Gwosdz (2003) uvádějí rozdíl v průměrných hodnotách mezi pemzou a struskou (Tab. 1). Obsah SiO_2 pro pemzu se pohybuje od 55 do 75% a pro strusku od 40 do 55%. Vzorek SO PE 1/1 měl obsah SiO_2 56,12 %, SO PE 1/3 52,83 %, SO PE 1/4 51,36 %, SO PE 1/7 58,02 %, SO PE 2/2 49,66 %, SO PE 2/3 16,22 % a SO PE 4/2 48,62 %. Je tedy zřejmé, že průměrným hodnotám pro pemzu rozhodně neodpovídá vzorek SO PE 2/3, dále nízký obsah SiO_2 má i vzorek SO PE 4/2, SO PE 2/2 a pod hranici průměrné hodnoty se nachází i vzorek SO PE 1/4 a SO PE 1/3, ale například v Maďarsku se hodnoty SiO_2 u pemzy pohybují již od 51,2 %.

Další komponenta Al_2O_3 se u pemzy pohybuje od 12 do 20 % a u strusky od 10 do 21 %. Podle tabulky 8 lehce zjistíme, že vzorek SO PE 2/3 do těchto hodnot rozhodně nezapadá a lehce nad 20 % obsahu mají i vzorky SO PE 1/4, SO PE 2/2 a SO PE 4/2, nicméně okolo 23% má i pemza z lokalit v Německu (Eifel) a Maďarska.

U komponenty Fe_2O_3 se uvádí pro pemzu hodnoty od 0,5 % do 4 a pro strusku od 3 % do 19 %. Lehce nad průměrem pemzy je vzorek SO PE 1/3, SO PE 2/3 a SO PE 4/2. Pemza ze Santorini však může mít až 7,12 % Fe_2O_3 .

FeO má průměrné hodnoty u pemzy od 0,1 % do 6 % a u strusky do 12%. Hodnoty vybraných vzorků se pohybují od 0,40 % do 3,10 %. Opět do průměrných hodnot nezapadá vzorek SO PE 2/3 (32,43 %).

Další důležitou komponentou silikátové analýzy je obsah MgO , u pemzy uváděn od 0,1 % do 3 % a strusky od 3 do 12 %. U všech vzorků jsou hodnoty poměrně malé, od 0,23 % do max. 1,24 %.

Lorenz a Gwosdz (2003) dále uvádějí rozdíl pro komponentu CaO u pemzy od 0,5 % do 4 % a u strusky od 4 do 15 %. Hodnoty sopečných pórovitých hornin byly naměřeny od 1,19 % do 2,49 %.

A poslední alkalické komponenty: Na_2O pro pemzu od 2 % do 5 % a pro strusku od 2% do 9 %. Hodnoty Na_2O jednotlivých vzorků jsou od 0,46 % do max. 4,87 %, K_2O pro pemzu 2 % až 5 % a pro strusku 1 až 9 %. Hodnoty K_2O vzorků jsou od 1,61 % do 8,84 %.

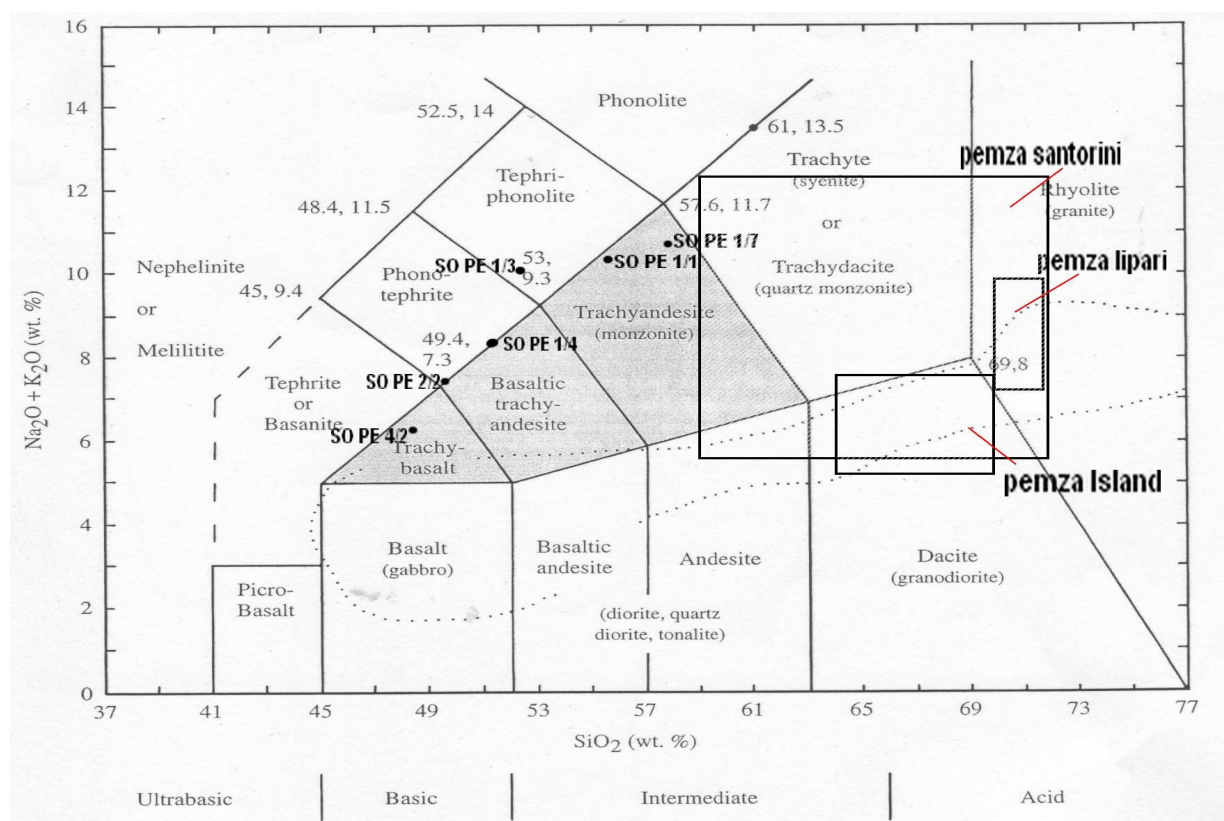
Podle těchto údajů průměrných hodnot je zřejmé, že do kategorie strusky ani pemzy nepatří vzorek SO PE 2/3 hlavně z hlediska velmi nízkého obsahu SiO_2 a naopak velkého obsahu MgO . Další dva vzorky sopečných pórovitých hornin mají také nízký obsah SiO_2 (pod 50%), a to SO PE 2/2

a SO PE 4/2, takže pemze jako takové těž neodpovídají. Podle jejich obsahu SiO_2 by mohly být brány jako struska, ovšem jejich obsah MgO je nízký 0,66 % a 0,64 % a pro strusku uvádí Lorenz a Gwozds 2003 hodnoty od 3 do 12 %. Stejně tak sou nízké i jejich hodnoty CaO 1,95 % a 2,11 % a měly by být pro strusku od 4 do 15 %. Vzorek SO PE 1/3 by eventuelně mohl být i vzhledem k o něco nižšímu obsahu SiO_2 ještě přiřazen k hornině pemze, ale z dalších komponent nesedí vysoký obsah K_2O , který je 8,84 % a u pemzy je uvedeno do 5 % a u strusky až 9 %, takže spíše zapadá pod kategorii strusky. Stejně tak i vzorek SO PE 1/4 s nižším obsahem SiO_2 je problematicky zařaditelný, ale má nižší obsah K_2O 6,34 % než SO PE 1/3, ale vyšší obsah Al_2O_3 22,21%. I když jeho hodnoty se o něco liší od průměrných hodnot pemzy, mohl by být jako pemza zařazen, pokud se porovná s ostatními hodnotami pemz ve světě v Tab. 2. Jako horninu pemzu lze označit podle naměřených hodnot komponent silikátové analýzy vzorky SO PE 1/7 a SO PE 1/1, které odpovídají uvedeným průměrným hodnotám pemzy.

Velké rozdíly v chemickém složení různých pórovitých hornin může být také interpretováno jako důsledek druhotných diagenetických změn, tzn. tvorba jílových minerálů (hlavně kaolinitu, méně illitu a montmorillonitu) a karbonátů (hlavně sideritu) v pórech, a tím např. zvýšení obsahu hlavně Al, Fe a relativní snížení obsahu Si proti původní hornině.

Další postup zpracování silikátové analýzy byl zaměřen na vynesení hodnot komponent vzorků sopečných pórovitých hornin do klasifikačního diagramu vulkanických hornin označovaného také jako TAS diagram s pravouhle orientovanými souřadnicemi $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ a SiO_2 . Diagram je rozdělen na 14 polí základních horninových typů vulkanitů a podle hodnot ze silikátové analýzy bylo tedy možné zařadit vybrané vzorky sopečných hornin k určitým vulkanickým typům. Obr. 20 ukazuje grafické zakreslení bodů představujících vzorky hornin do TAS diagramu. Vzorek SO PE 1/1 byl určen jako trachyandezit (také monzonit), vzorek SO PE 1/3 jako tefrifonolit, SO PE 1/4 je na hranici mezi fonotefritem a bazaltickým trachyandezitem, vzorek SO PE 1/7 je určen jako trachyandezit, vzorek SO PE 2/2 je opět na hranici mezi fonotefritem a bazaltickým trachyandezitem a poslední vzorek horniny SO PE 4/2 je určen jako trachybazalt.

Do tohoto klasifikačního diagramu bylo posléze pro porovnání zaneseno minimální a maximální rozpětí hodnot tří typických zástupců pemzy z ostrova Lipari v Itálii, z ostrova Santorini v Řecku a z Islandu (viz data uvedená v Tab. 2 a převzatá z Lorenze a Gwozds 2003).



Obr. 20. Klasifikační diagram vulkanických hornin s vynesnými body vzorků sopečných pórovitých hornin a polí rozpětí hodnot pro typické zástupce pemzy z Lipar, Santorini a Islandu.

Obr. 20 by měl tedy upozornit na rozdíl v geochemickém charakteru vzorků sopečných pórovitých hornin ze sokolovské pánve a klasických zástupců pemzy. Pokud by se vzalo v úvahu, že průměr hodnot SiO_2 pro pemzu je 55 % (jsou zaznamenány pemzy jejichž hodnota je menší okolo 51%), tak by se mohly jako pemza interpretovat z hlediska svého chemického složení pouze vzorky SO PE 1/1 a SO PE 1/7, eventuálně ještě vzorek SO PE 1/3. Podle Lorenze a Gwozdse (2003) má pemza ryolitické, dacitické, trachytické a fonolitické složení, mohou být tedy kyselé až intermediální. U vzorku hornin SO PE 1/4, SO PE 2/2 a SO PE 4/2 je ale zřejmé bazické složení.

Kromě těchto sesbíraných vzorků je k dispozici ještě jedna silikátová analýza horniny odebrané dr. Petrem Rojíkem (viz Tab. 12), která reprezentuje světlou, silně pórovitou horninu s póry relativně málo kolmatovanými druhotnými jílovými nerosty a karbonáty. Podle klasifikačního TAS diagramu by odpovídala bazaltickému trachyandezitu s intermediálním složením. Téměř všechny naměřené hodnoty odpovídají průměrným hodnotám pro pemzu (Tab.2), jen naměřené hodnoty K_2O a Na_2O jsou o něco rozdílnější.

Tab.12. Silikátová analýza sopečné pórovité horniny, I. lokalita, lom Družba (odběr dr. Rojík 2009).

SiO ₂	53,800
TiO ₂	2,810
Al ₂ O ₃	19,030
Fe ₂ O ₃	3,180
FeO	1,250
MgO	0,730
MnO	0,035
CaO	2,640
SrO	0,080
BaO	0,110
Li ₂ O	0,018
Na ₂ O	1,590
K ₂ O	5,830
P ₂ O ₅	1,208
F	0,194
CO ₂	0,980
C(ost.)	0,390
S(tot.)	0,059
H ₂ O(+)	4,720
H ₂ O(-)	1,470
F(ekv)	-0,082
S(ekv)	-0,015
celkem	100,11

6.3. Fyzikální vlastnosti a možnosti využití

Objemová hmotnost pemzy je menší než 1000 kg/m³, pemza tedy plave na vodě (Geitgey 1994). Pro zjištění fyzikálních vlastností odebraných vzorků byla použita metoda rtuťové porozimetrie. Pomocí této metody byla u každého vzorku naměřena hodnota objemové hmotnosti pórů V , povrchu pórů S_c , poloměrů pórů r , zdánlivé rtuťové hustoty d_{HG} a pórovitosti Por (Tab. 10).

Podle Manvilla (1998) se pórovitosti v pemzách vzniklých během „suchých erupcí“ pohybují od 60 – 93% a jsou vyšší než pórovitosti za „mokrých“ freatomagmatických erupcí. Thomas a kol. (1994) zase upozorňují na překvapivé rozpětí hodnot pórovitosti u velkého množství pozorovaných pemz, například v oblasti Hatepe Plinian na Novém Zélandu se nachází pemzy s pórovitostí menší než 60 % a nebo naopak s více než 85 %. Basaltické pemzy vykazují největší rozsah pórovitosti, s hodnotami až do 98 %. Průměrná pórovitost může být definována buď typem ložiska a kolísá od 71 (basaltické

kužely) do 81 % (popelový spad s vysokým obsahem křemene) a nebo podle individuálního stratigrafického stupně v ložisku reprezentovaným okamžitým produktem erupce.

Pórovitost odebraných vzorků SO PE 1/1, SO PE 1/3, SO PE 1/4, SO PE 2/1, SO PE 2/2, SO PE 2/3, SO PE 4/1, SO PE 4/3 a SO PE 4/8 z lokality I ukazuje Tab. 10. Rozpětí pórovitosti se pohybuje od 18,52 % až do nejvyšší hodnoty 38,30 %. Tab. 2 však uvádí pro pemzu pórovitost až do 85 % na rozdíl od strusky jenž dosahuje v průměru jen okolo 50 %. Naměřené hodnoty pórovitosti jsou tedy relativně nízké a odpovídaly by tedy spíše hodnotám pro strusku a nebo pro freatomagmatické erupce.

Sopečné pórovité horniny se v lomu Družba vyskytují ve větším množství. Mohly by být potenciální doprovodnou surovinou při těžbě hnědého uhlí. Jejich využití by mohlo být inspirované využitím pemzy. Jejich charakter však nemá takovou kvalitu ve srovnání s klasickou pemzou těženou ve světě, ale mohly by být využívány ve stavebnictví a nebo v zahradnictví jako podklad pro tvorbu zelených střech.

7. ZÁVĚR

Metody pro zkoumání sopečných pórovitých hornin zahrnovaly terénní výzkum zaměřený na geologickou podstatu hornin a laboratorní výzkum zaměřený na makroskopický popis hornin, tvarovou analýzu, mikroskopický popis, RTG difrakční rozbor, silikátovou analýzu a rtuťovou porozimetrii.

Při geologickém výzkumu v lomu Družba bylo mapováním zjištěno 10 lokalit (dokumentačních bodů), kde byly horniny ve stěnách (etážích) lomu uloženy. Nejlépe byly odkryty v severní části lomu, kde byl zjištěn podle charakteru jejich uložení lahar (bahnotok) v korytu směřujícím od severní části do centrální části lomu. Horniny se vyskytují v tzv. novosedelském souvrství a jsou uloženy hlavně v bentonitové základní hmotě. Bylo u nich zjištěno zvrstvení typické střídáním hrubozrnných a jemnozrnných vrstev.

Makroskopický výzkum se zaměřil na popis sopečných hornin z hlediska barvy, povrchu a pórovitosti. Podle těchto kritérií byly horniny rozděleny do čtyř kategorií a pemze odpovídala kategorie SO PE 1, pro kterou byla typická velmi světlá až bílá barva, hladký povrch a výrazná pórovitost. Ostatní kategorie pemze vzhledově neodpovídaly (nevýrazná pórovitost, odlišná barva, hrubý povrch, jílová výplň).

Tvarová analýza částic sopečných pórovitých hornin se zaměřila na určení jejich velikosti a tvaru. Částice těchto hornin mohou mít velikost od nejmenších (od přibližně 1cm) až po částice okolo 15cm a jejich tvar je většinou oválný či prodloužený. V terénu se vyskytují také úlomky hornin.

Mikroskopický popis odhalil dvě základní struktury sopečných hornin, a to tzv. holokrystalickou strukturu, v níž je veškerá hmota horniny tvořena z krystalovaných minerálů a tzv. hemikrystalickou strukturu, která se vyznačuje přítomností sklovité fáze vedle krystalů v hornině. Sklovitá struktura, ve které většina nebo veškerá hmota utuhla jako sklo, nalezena ve výbrusech nebyla. Dalším dělítkem struktur je velikost součástek v hornině. Pro výbrusy je charakteristická tzv. porfyrická struktura vyznačující se výrazně velikostně odlišnými vyrostlicemi, které spočívají v jemnozrnější holokrystalické, hemikrystalické nebo sklovité základní hmotě. Vyrostlice (porfyry) jsou ve výbrusech hypidiomorfne až xenomorfne omezené, také výrazně korodované. Mezi typické zástupce patří křemen, klinopyroxen, egirín, občas zrna granátu. Typický je také výskyt rudních minerálů buď jako akcesorických v základní hmotě nebo jako vyrostlic větší velikosti. Dalším znakem je tzv. proželeznění některých výbrusů.

Další metoda mikroskopického studia sopečných pórovitých hornin byla založena na pozorování výbrusů v polarizačním mikroskopu v odraženém ultrafialovém světle. Byly pozorovány geometrické tvary pórů a typické jevy ve výbrusech byly mikropórovitost, vrůstání pórů do minerálů, rozvětvené nepravidelné tvary pórů a mikrotrhliny.

RTG difrakce odhalila přítomné fáze v několika sesbíraných horninách a to jsou: albit, cristobarit, křemen, siderit, chloritoid, ananas, kaolinit, kaolinit-montmorilonit, illit, sanidin, fluorapatit, hauyn, xonotlit, illit, olivín, goethit, rutil, apatit, celestit, phillipsit.

Výsledky silikátové analýzy byly využity pro klasifikaci studovaných hornin v TAS diagramu ukazující složení magmatických hornin v závislosti na obsahu SiO_2 a $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$. Po vynesení šesti vzorků sopečných hornin do diagramu bylo možno určit jejich přesný název podle jejich chemického složení. Byl určen dvakrát trachyandezit, dvakrát vzorek na hranici mezi fonotefritem a bazaltickým trachyandezitem, trachybazalt a tefrifonolit.

Rozdíly mezi pemzou a sopečnými pórovitými horninami jsou u některých odebraných vzorků v barvě, povrchu, menším množství pórů (i jejich tvarem) a v chemickém charakteru. Velké rozdíly

v chemickém složení různých pórovitých hornin však může být také interpretováno jako důsledek dlouhodobého uložení těchto hornin a s tím souvisejících druhotných diagenetických změn, tzn. tvorba jílových minerálů (hlavně kaolinitu, méně illitu a montmorillonitu) a karbonátů (hlavně sideritu) v pórech, a tím např. zvýšení obsahu hlavně Al, Fe a relativní snížení obsahu Si proti původní hornině. Z výše popsaných skutečností mohou některé vzorky být zařazeny spíše do kategorie struskových hornin než klasických pemz známých ze světových lokalit.

Sopečné pórovité horniny by mohly najít své využití jako doprovodná surovina při těžbě hnědého uhlí. Inspirací by mohlo být využití pemzy. Jejich charakter však nemá takovou kvalitu ve srovnání s klasickou pemzou těženou ve světě.

8. POUŽITÁ LITERATURA

Allahverdi A., Mehrpour K., Kani E.N., 2007. Investigating the possibility of utilizing pumice- type natural pozzolana in production of geopolymer cement, str. 16 – 23.

Bush A.L., 1973. Lightweight aggregates. United States Mineral resources, US Geol. Surv. Prof. Paper 820, D.A. Brobst and W.P. Pratt, eds., pp., str. 342-245.

Calaveri L., Miraglia N., Papia M., 2002. Pumice concrete for structural wall panels. Elsevier, str. 116-125.

Crangle R. D., Jr., 2009. Pumice and pumicite. U.S. Geological Minerals Yearbook 2008, str. 59,1 – 59,6.

Crangle R.D., Jr., 2010. Pumice and pumicite. U.S. Geological survey, 2010, Mineral commodity summaries 2010, str. 124.

Čech F., 1956. Mineralogické studium některých jílů ze sokolovsko – loketské hnědouhelné pánve. Diskuze o práci na schůzi II. sekce ČSAV dne 10.1. 1957, str. 29 – 30.

Dopita M., Havlena V., Pešek J., 1985. Ložiska fosilních paliv. SNTL, Praha, 264 str.

Drake L.C., 1949. Pore-size distribution in porous materials. Application of high pressure mercury. Industrial and Engineering Chemistry 41: str. 780-785.

Dudek A., Fediuk F., Palivová M., 1962. Petrografické tabulky, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1962, 303 str.

Farizoglu B., Nuhoglu A., Yildiz E., 2003. The performance of pumice as a filter bed material under rapid filtration conditions. Filtration & Separation 40 (3): str. 41 – 47.

Geitgey R. P., 1994. Pumice and volcanic cinder. Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, Carr D.D., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, str. 803- 812.

Gudmunsson A.T., Kjartansson H., 1996. Land in Werden. Ein Abriss der Geologie Islands. – Reykjavik, 166 str.

Harben P. W., 2002. Pumice and scoria. The Industrial Minerals Handbook, 4th edition, Industrial Minerals Information, Surrey (U.K.), str. 274 – 276.

Harben P. W., Kužvart M., 1996. Pumice and scoria. Industrial Minerals, Global geology, str. 317 – 323.

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z., 2002. Geologická minulost České republiky. Akademia, Praha, 436 str.

IUPAC, 1976. Manual of symbols and terminology for physicochemical quantities and units — appendix II. Definitions, terminology and symbols in colloid and surface chemistry. Part II: heterogeneous catalysis. Pure and Applied Chemistry 46(1): str. 71-90.

Johson W.M., Maxwell J.A., 1981. Rock and mineral analysis, Lavoisier, 488 str.

Lorenz W., Gwosdz W., 2003. Manual on the Geological – technical Assesment of Mineral Construction Materials. Geologishes jahrbuch sonderhefte, str. 197 – 211.

Malkovský M., Brunnerová Z., Bůžek Č., Čadek J., Čadková Z., Čech F., Čuta J., Domáci L., Elznic A., Fejfar O., Gabriel M., Gabrielová N., Hercogová J., Hokr Z., Kačura G., Kodymová A., Kopecký L., Králík F., Kurendová J., Líbalová J., Malecha A., Manová M., Mašín J., Plzák V., Rákosová M., Řeháková Z., Schovánek P., Schovánková D., Šalanský K., Šebesta J., Šmejkal V., Šrámek J., Štemprok M., Tásler R., Tyráček J., Urban J., 1985. Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. Ústřední ústav geologický v Akademii, nakladatelství Československé akademie věd, Praha, str. 172, 318.

Manville V., White J.D.L., Houghton B.F., Wilson C.J.N., 1998. Sedimentary Geology, Elsevier, str.6.

McCusker L.B., Liebau F., Engelhardt G., 2001. Nomenclature of structural and compositional characteristics of ordered microporous and mesoporous materials with inorganic hosts. Pure and Applied Chemistry 73(2): 381-394.

Nishiyama T., Kusuda H. 1994. Identification of pore spaces and microcracks using fluorescent resins. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 31: 369-375.

Pellegrino A., 1966. Propeta fisico-meccaniche dei terreni vulcanici del Napoletano. AGI 7th Convention for Geotechnice, Cagliari, Italy 3: str. 113 – 145.

Petránek J. 1993. Malá encyklopedie geologie, nakladatelství Jih, České Budějovice, 246 str.

Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R., 1987. Sand and sandstone. 2. vyd., Springer-Verlag, New York, 553 str.

Rojík P., 2006 a. Zpravodaj hnědé uhlí, 2/06. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s., Most, str. 13 – 14, 23

.

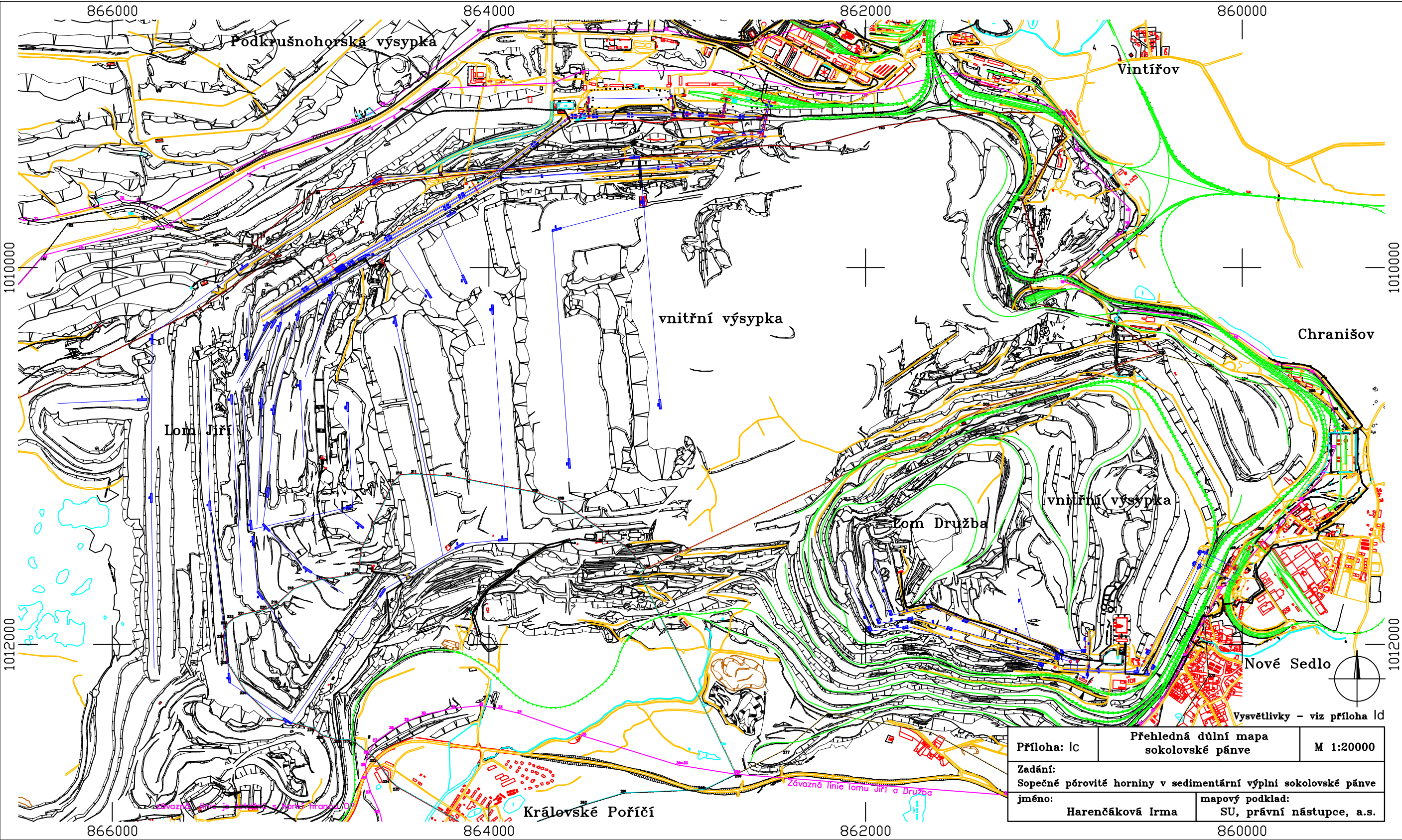
Rojík P., 2006 b. Zpravodaj hnědé uhlí, 3/06. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s., Most, str. 38 – 39.

Schneider P., 2007. Textura porézních látek, str. 3 – 4.

Sneed E.D., Folk R.L., 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis. Journal of geology 66: 114-150.

Šantrůček P., 1961. Poznámky ke geologii Sokolovské terciární pánve. Věstník ÚÚG, roč. XXXVI. Str. – 134 – 135.

Thomas N., Jaupart C., Vergnolle S., 1994. On the vesicularity of pumice. Journal of Geophysical Research, vol. 99, no. B8, str. 15,633.



Chranišov

Nové Sedlo

Vysvětlivky

- výsypkové etáže
- skrytkové etáže
- uhelné etáže
- výchozy pemzy
- vrtý

Příloha: Id	Dolní mapa lomu Družba s vyznačenými lokalitami	M 1:5000
Zažádání:	Sopečné póravit horniny v sedimentární výplni sokolovské páne	
Jméno:	Harenčáková Irma	mapový podklad: SU, právní nástupce, a.s.